

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
факультет інформатики та обчислювальної техніки
(повна назва інституту/факультету)

кафедра автоматики та управління в технічних системах
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту
допущено»
Завідувач
кафедри
О. І. Ролік
“18”
грудня 2019 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 126 «Інформаційні системи та
технології»

(код і назва спеціальності)

на тему: цифрова система керування електромобілем

Виконав: студент б курсу, групи ІА-382МП
(шифр групи)

Ярцев Роман Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові) _____ (підпис)

Науковий керівник доц. кафедри АУТС, к.т.н., доц. Репнікова Н. Б.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Консультант _____
(назва розділу)(науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) _____ (підпис)

Рецензент доц. кафедри АСОІУ, к.т.н., доц. Жданова О.Г.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут) Інформатики та обчислювальної техніки
(повна назва)

Кафедра Автоматики та управління в технічних системах
(повна назва)

Освітньо-кваліфікаційний ступінь магістр
(назва ОКР)

Спеціальність 126 «Інформаційні системи та технології»
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
О.І. Ролік
(підпис) (ініціали, прізвище)

« » _____ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Ярцеву Роману Володимировичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Цифрова система керування електромобілем

Науковий керівник дисертації Репнікова Н. Б., доцент кафедри. АУТС, к.т.н
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «____» _____ 2019 р. № _____

2. Строк подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження електромобіль

4. Предмет дослідження (вихідні данні для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою): цифрова система керування електромобілем:
задана швидкість електромобіля 70 км/год, перерегулювання не більше 2%.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: аналіз предметної області, аналіз існуючих рішень для побудови цифрової системи керування електромобілем, розроблення схеми структурної та функціональної, розроблення математичної моделі, дослідження стійкості та якості цифрової системи, синтез ПД-регулятора, дослідження впливу зміни параметрів моделі регулятора на якість цифрової системи керування круїз-контролю, маркетинговий аналіз стартап проекту.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: схема електрична структурна, схема електрична функціональна, модель системи керування швидкості руху, аналіз стійкості та якості, розрахунок ПД, математична модель синтезу, дослідження впливу параметрів на якість, використання результатів дослідження у цифровій моделі круїз-контролю.

7. Орієнтовний перелік публікацій: _____

7. Консультанти розділів дисертації:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдан ня видав	завдан ня прийн яв

8. Дата видачі завдання 04 вересня 2019

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів дисертації	Примітка
1	Аналіз предметної області, огляд літератури	15.09.2019	
2	Розроблення структурної та функціональної схеми	18.09.2019	
3	Розроблення математичної моделі системи	30.09.2019	
4	Дослідження стійкості та якості цифрової системи	20.10.2019	
5	Синтез ПД-регулятора	01.11.2019	
6	Дослідження впливу зміни параметрів на якість процесів керування	10.11.2019	
7	Розробка стартап-проекту	20.11.2019	
8	Оформлення матеріалів дисертації	04.12.2019	

Студент

_____ (підпис)

Р. В. Ярцев

_____ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

Н. Б. Репнікова

_____ (ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Магістерська дисертація за освітньо-професійною програмою «Інтегровані інформаційні системи» підготовки рівня «магістр» на тему «Цифрова система керування електромобілем». 101 с., 42 рис., 29 таб., 8 додатків, 23 джерел.

Актуальність магістерської дисертації полягає в тому, що на сьогоднішній день електромобілі стрімко набирають популярність, причому з кожним роком все більше і більше. Це відбувається в першу чергу, через постійний розвиток нових технологій, що роблять виробництво і експлуатацію електротранспорту з кожним роком дешевше, а також з постійним зростанням цін на органічне паливо для звичайних (бензинових і дизельних) автомобілів і погіршенням екологічної обстановки, викликаній масовими викидами шкідливих речовин двигунами автомобілів. Тому розроблення ефективних систем керування електромобілем задача своєчасна та актуальна.

Мета – підвищити ефективність керування круїз–контролю електромобіля.

Об’єкт дослідження: електромобіль.

Предмет дослідження: цифрова система керування електромобілем.

Методи дослідження: перетворення Лапласу, моделі передавальних функцій, Z-перетворення, методи та алгоритми розроблення ПД-законів керування, комп’ютерне моделювання засобами MATLAB.

Результати досліджень: розроблена система ефективного керування електромобілем.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ, ЕЛЕКТРОДВИГУН, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, СИСТЕМА КРУЇЗ-КОНТРОЛЮ.

SUMMARY

Master's dissertation on the educational-professional level training program "Master" on the theme "Digital control system for an electric car". 101 pgs., 42 fig., 29 tables, 8 applications, 23 sources.

The relevance of the master's dissertation: now electric cars are gaining popularity, and more and more every year. This is primarily due to the constant development of new technologies that make the production and operation of electric vehicles cheaper every year, as well as the constant increase in the prices of organic fuel for conventional (gasoline and diesel) cars and the deterioration of the environmental situation caused by mass emissions. car engines. Therefore, the development of efficient electric vehicle control systems is a timely and urgent task..

The goal is to increase the efficiency of cruise control of the electric vehicle.

Object of research: electric car.

Subject of research: digital control system of electric car.

Methods of research: Laplace transforms, transfer models, Z-transforms, methods and algorithms for developing PID control laws, computer modeling by MATLAB.

Results of the research: system of effective control of electric vehicle is developed.

Keywords: ELECTRIC CAR, ELECTRIC MOTOR, CONTROL SYSTEM, CRUISE CONTROL SYSTEM.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ	10
1.1 Історія електромобілів	10
1.2 Переваги, недоліки і перспективи електромобілів	13
1.3 Бренди та марки електромобілів.....	14
1.4 Системи автоматичного керування електромобілів	24
2.1 Структурна схема цифрової системи керування електромобілем	32
2.2 Функціональна схема цифрової системи керування електромобілем	42
3 РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	45
3.1 Блок завдання.....	47
3.2 Блок соленоїда	47
3.3 Блок виконавчих двигунів	48
3.4 Електромобіль та навантаження	49
3.5 Блок збурювального моменту	50
3.6 Блок датчика положення дросельної заслінки	51
3.7 Швидкість електромобіля.....	52
4 ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ТА ЯКОСТІ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КРУЇЗ-КОНТРОЛЕМ.....	54
4.1 Z–перетворення	54
4.2 Дослідження стійкості цифрової системи	58
4.3 Дослідження якості цифрової системи	60
5 СИНТЕЗ ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА	65
5.1 Теорія ПІД–регулятора	65

5.2 Розрахунок коефіцієнтів ПД–регулятора	67
6 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ K_v НА ЯКІСТЬ ПРОЦЕСІВ КЕРУВАННЯ.....	70
7 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ	85
7.1 Опис ідеї проекту	85
7.2 Технологічний аудит ідеї проекту	86
7.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап–проекту	87
7.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	92
7.5 Розроблення маркетингової програми стартап–проекту	95
7.6 Висновки	98
ВИСНОВКИ.....	99
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	100

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ЕБУ – електронний блок керування

GPS – global positioning system (глобальна система позиціонування)

САУ – система автоматичного управління

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ЦАП – цифрово-аналоговий перетворювач

МК – мікроконтролер

ABS – Anti-lock braking system (антиблокувальна система)

ESP – electronic stability program (електронна програма стабільності)

ВСТУП

Сьогодні електромобілі стрімко набирають популярність, причому з кожним роком все більше і більше. Це відбувається в першу чергу, через постійний розвиток нових технологій, що роблять виробництво і експлуатацію електротранспорту з кожним роком дешевше, а також з постійним зростанням цін на органічне паливо для звичайних (бензинових і дизельних) автомобілів і погіршенням екологічної обстановки, викликаній масовими викидами шкідливих речовин двигунами автомобілів. Тому розроблення ефективних систем керування електромобілем задача своєчасна та актуальна.

Об'єкт дослідження – електромобіль.

Предмет дослідження – цифрова система керування електромобілем.

Мета – підвищити ефективність керування круїз–контролю електромобіля.

До магістерської дисертації прикладено акт впровадження, що підтверджує її використання.

Для досягнення мети вирішено наступні завдання:

- 1) огляд існуючих цифрових систем керування електромобілем;
- 2) розроблення схеми електричної структурної цифрової системи керування електромобілем;
- 3) розроблення схеми електричної функціональної цифрової системи керування електромобілем;
- 4) розроблення математичної моделі цифрової системи керування електромобілем в пакеті MATLAB/Simulink;
- 5) дослідження стійкості та якості цифрової системи керування електромобілем;
- 6) розроблення та дослідження ПД–регулятора;
- 7) дослідження впливу зміни параметрів моделі регулятора на якість цифрової системи керування круїз–контролю;
- 8) розроблення стартап–проекту.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

1.1 Історія електромобілів

Винахід першої моделі електричного транспортного засобу приписується різним людям[1]. У 1828 році – Єдлик Аньош, угорський винахідник раннього типу електродвигуна, створив невеликий модельний автомобіль, оснащений своїм новим двигуном. У 1834 році вермонтський коваль Томас Девенпорт побудував аналогічний пристрій, яке працювало на короткій, круговій, електрифікованій доріжці. У 1834 році професор Сібранд Стратінгх з Гронінгена, Нідерланди і його помічник Крістофер Беккер створили невеликий електромобіль, оснащений батареєю без можливості зарядки.

Фактично, перший успішний електричний автомобіль був представлений в 1890 році Вільямом Моррісоном(рис. 1.1). Хоча електромобіль і мав швидкість 14 миль за годину (22,5 км / год), він сприяв зростанню всієї галузі, і до 1900 року на електричні автомобілі припадала приблизно третина всіх автомобілів на дорозі. Цей ріст відбувався одночасно із загальним зростанням автомобільної промисловості на початку 20-го століття, оскільки автомобіль замінив коней і карети – звичайний вид транспорту в той час. Ранні переваги електромобілів були аналогічні перевагам, які ми чуємо сьогодні. Вони були тихими, легкими в русі і не виділяли забруднень, як інші автомобілі. Томас Едісон був раннім прихильником електромобілів і співпрацював з Генрі Фордом в розробці чудових електромобільних технологій.



Рисунок 1.1 – Електромобіль Вільяма Моррісона

Проте, всупереч надіям, покладених на електромобіль, бензиновий автомобіль стає все популярнішим. Одним з конкретних подій, яке вплинуло на це – масове виробництво Ford Model T (рис. 1.2), вперше представленої в 1908 році.



Рисунок 1.2 – Ford Model T

До 1912 року ціна на бензинові автомобілі була знижена до 650 доларів, що менше половини вартості електромобілів в той час на ринку, ціна була близько 1750 доларів. Це була не єдина причина, по якій сталося раптове зниження уваги до електромобілів. Оскільки в США розвивалися дорожні системи, а міста стали більш пов'язаними, то сталося природне збільшення бажання подорожувати на великі відстані. Цей прогрес збігся з відкриттям сирої нафти в Техасі, і бензин відразу став дешевим і доступним ресурсом. Таким чином, заправки почали з'являтися разом з новою дорожньою інфраструктурою. Оскільки електрику в той час було менш доступним для громадян і існувало тільки у великих містах, спостерігалось різке зниження поширеності електромобілів. Протягом наступних кількох десятиліть електромобіль практично зник з ринку, а значні ресурси були вкладені в розвиток двигунів внутрішнього згоряння.

Через доступність нафти двигуни внутрішнього згоряння домінували в автомобільній промисловості протягом багатьох років, але в 1970–х роках нестача бензину почала підвищувати ціни на нафту. Незабаром після Нафтової кризи 1973 року конгрес прийняв законодавство, яке заохочувало підтримку досліджень і розробок електричних і гібридних транспортних засобів. Електромобілі як і раніше обмежувалися приблизно 64 кілометрами за кожен заряд і максимальною швидкістю 72 км / год, що не давало їм можливості успішно повернутися на автомобільний ринок.

На початку XXI століття інтерес до електричних і іншим альтернативним паливним транспортним засобам збільшився через зростання стурбованості проблемами, пов'язаними зі збитком навколишньому середовищу і стійкістю нинішніх запасів копалин, а також з-за вдосконалення технологій електромобілів.

Відродження електромобіля знаменується двома основними подіями: випуском Toyota Prius і появою компанії Tesla Ілона Маска. На відміну від попередніх невдалих спроб автовиробників ввести електромобілі на ринок, ця пара змогла довести життєздатність електромобілів.

В кінці 90–х років Toyota створила гібридну модель Toyota Prius, в 2006 році на ринок вийшла Tesla Roadster(рис 1.3), який витрачав 110 ват–годин на кожен кілометр. Це був дійсний успіх, який спонукав інших почати розробку електромобілів. Це, поряд зі падінням цін на батареї, допомогло створити платформу для розвитку електромобілів.



Рисунок 1.3 – Tesla Roadster 2008

Навесні 2010 року почав випускатися Nissan LEAF – перший в світі масовий електромобіль, а вже в листопаді цього року Leaf був оголошений переможцем Європейського автомобіля року 2011 і Всесвітнього автомобіля року 2011, ставши першим переможцем–електромобілем. Ілон Маск також оцінив Leaf і вважає, що це хороша машина і її чекає успіх.

1.2 Переваги, недоліки і перспективи електромобілів

Серед основних переваг електромобілів, як правило, виділяють[2]:

- 1) Зниження витрат на паливо. Вартість бензину постійно зростає і часто витрачається у великих кількостях, що спустошує сімейний бюджет, а витрата на електроенергію для підзарядки акумулятора повинен виявитися набагато менше цих витрат;
- 2) Зниження забруднення навколишнього середовища. Працюючий двигун електромобіля не виділяє шкідливих газів в навколишнє середовище. В ідеалі, щоб знизити вплив на навколишнє середовище, її треба проводити з чистих, поновлюваних джерел енергії;
- 3) Зниження шуму. Електромобілі здатні забезпечувати тихий і плавний розгін, з більш швидким прискоренням;
- 4) Високий коефіцієнт ККД, порівняно з двигунами звичайних автомобілів;
- 5) Безпека. Електромобілі проходять ті ж процедури тестування, що і звичайні автомобілі. Таким чином, в разі зіткнення спрацюють подушки безпеки, датчики зіткнення відключають акумулятори, так що електромобіль зупиниться. Наприклад, електромобіль Tesla Model S в 2013 році отримав найвищий рейтинг безпеки з усіх автомобілів, коли–небудь протестованих в США;
- 6) Власне вартість. Пройшли ті часи, коли електромобілі коштували величезні гроші. Раніше батареї були дуже дорогими, але при масовому виробництві їх вартість знижується;

7) Надійність. Через меншої кількості деталей і вузлів, підвищується надійність електромобіля і, як наслідок, зменшуються витрати на ремонт і обслуговування.

Серед основних недоліків виділяється:

- 1) Станції для підзарядки. В Україні відкривають нові станції для зарядки електромобілів, але інфраструктури все одно не достатньо;
- 2) Електрика не безкоштовна. Варто звернути увагу на те, що у електромобілів різний рівень витрати електроенергії;
- 3) Короткий пробіг і обмежена швидкість. Більшість електромобілів можуть проходити приблизно від 160 до 240 км без підзарядки. Хоча деякі моделі обіцяють пройти до 480 км без підзарядки;
- 4) Час перезарядки. Для повної зарядки електромобіля потрібно близько 8–10 годин від побутової розетки та десь 45 хвилин від станції підзарядки;
- 5) Зазвичай вони 2–місні. Електромобілі не призначені для перевезення всієї родини, це значить, що поїздка втрьох може виявитися вже незручною;
- 6) Заміна батареї. Заміна проводиться через кожні 3–10 років;
- 7) У зимовий час підвищується витрата енергії акумулятора на обігрів салону, щіток і фар. Це призводить до того, що пробіг взимку скорочується на 30–50% в порівнянні з літнім періодом.

Сьогодні аналізуючи стан випуску електромобілів, можна прийти до висновку, що виробники намагаються знижувати ціни на електромобілі, тобто рухаються по другому шляху розвитку. Майже всі великі виробники електромобілів: Mitsubishi, Peugeot, Citroen, Nissan, Renault, Toyota, Kia, Honda, BMW планують в найближчі десять років вийти на ринок або запуснути виробництво нових моделей.

Як прогнозує Міжнародне енергетичне агентство, світовий парк електромобілів до 2025 року збільшиться майже в 200 разів, тобто досягне 200 млн одиниць машин.

1.3 Бренди та марки електромобілів

1.3.1 Tesla Roadster 2008

Tesla Roadster(рис 1.4) – повністю електричний спорткар, який приніс всесвітню популярність американської компанії Tesla Motors.

Автомобіль побудований на базі іншого знаменитого купе – Lotus Elise – і був вперше представлений публіці в 2008 році. При створенні Roadster компанія Tesla застосувала геніальний хід – замість громіздких і важких нікель–металогідридних або літій–іонних батарей фахівці Tesla використовували блок живлення, що складається з декількох сотень маленьких літій–іонних акумуляторів від звичайних ноутбуків, об'єднаних єдиною мережею. При такій схемі електромобіль вийшов не тільки легшим, що позитивно позначилося на практично всіх його характеристиках, але і з великим запасом ходу. За інформацією компанії запас ходу до повної розрядки складає 245 миль, або майже 400 кілометрів. Це чудовий показник за мірками сучасних електромобілів.

Маленький спортивний електромобіль вийшов вдалим у всіх сенсах і швидко здобув схвальні відгуки як серед професійних ЗМІ, так і у звичайних шанувальників швидких автомобілів.

Таблиця 1.1 – Характеристика електромобіля Tesla Roadster 2008[3]

Тип двигуна	Трифазний асинхронний електродвигун
Тип акумулятора	Літій–іонний
Максимальний крутний момент електродвигуна	270 Н*м
Потужність електродвигуна	252 к.с. / 185 кВт
Акумуляторна батарея	53 кВт*год
Запас ходу	320 км
Час заряду(220В / 380В / DC)	3.5 год./–/30 хв.
Розгін до 100 км/год	3.9 с
Максимальна швидкість	201 км/год



Рисунок 1.4 – Tesla Roadster 2008

1.3.2 Tesla Model S

Прототип нового Tesla Model S (рис. 1.5) був представлений на 63-му автосалоні у Франкфурті, який відкрився 17 вересня 2009 року. Через три роки американський електрокар вийшов в серійне виробництво і в тому ж році став доступний на ринках США і Європи.

У 2013 році Tesla S став найбільш продаваним люксовим седаном в США, обігнавши за перший квартал BMW 7 Series і Mercedes-Benz S-Class. В Європі успіхи електрокара дещо скромніші – бестселером він був тільки перші два тижні вересня в Норвегії.

Ще через рік Tesla Model S пройшов краш-тести NHTSA і заробив п'ять зірок у всіх категоріях: фронтальний, бічний і задній удар, а також тест на перекидання, отримавши підсумкову оцінку 5,4 бала. Трохи пізніше журнал Consumer Reports, що випускається союзом споживачів США (Consumers Union) провів власні тести безпеки цього електрокара. З 100 можливих балів Tesla Model S отримав 99, і був названий «кращим з коли-небудь протестованих CR автомобілів».

Найголовніше ж зміна торкнулася управління автомобіля. Tesla Model S входить в серію автомобілів компанії, які вперше почали базово комплектуватися автопілотом і системою автономного водіння. Дані технології стали можливим завдяки установці

на автомобіль великого числа камер і датчиків, що зчитують інформацію про ситуацію на дорозі. Електромобіль Tesla Model S здатний самостійно долати істотні відстані використовуючи тільки навігатор, з заданим маршрутом.

Таблиця 1.2 – Характеристика електромобіля Tesla Model S[4]

Тип двигуна	Трифазний асинхронний електродвигун
Тип акумулятора	Літій-іонний
Максимальний крутний момент електродвигуна	440 Н*м
Потужність електродвигуна	315 к.с. / 235 кВт
Акумуляторна батарея	75 кВт*год
Запас ходу	480 км
Час заряду(220В / 380В / DC)	25–35 год./5–7 год/1.1 год.
Розгін до 100 км/год	5.8 с
Максимальна швидкість	225 км/год



Рисунок 1.5 – Tesla Model S

1.3.3 Tesla Model X

Tesla Model X Standard(рис. 1.6) – це повноцінний кросовер. Електричні кросовери від Tesla з моменту своєї появи на ринку, миттєво здобули собі популярність і визнання. Перші моделі, випущені компанією в 2015 році, були дуже успішні, але як ми знаємо на прикладі серії S, що стрімко розвивається постійно оновлює лінійку своїх автомобілів.

Tesla Model X залишається автомобілем переважно для міста і шосе. Повний привід, яким оснащений Tesla Model X, покликаний забезпечувати автомобілю кращу керуваність, курсову стійкість і маневреність. Крім того автомобіль розрахований на експлуатацію не тільки в кліматичних умовах Каліфорнії, але і в країнах з сезонними коливаннями клімату, таких як Україна, де наявність повного приводу буде аж ніяк не зайвим, особливо в осінньо–зимовий період.

Електромобіль Tesla Model X отримав найвищий бал на краш–тестах Euro NCAP. Автомобіль оснащений практично всіма інноваційними технологіями безпечної їзди, включаючи систему запобігання зіткнень, яка автоматично зупиняє автомобіль у разі виникнення раптової перешкоди на дорозі.

Таблиця 1.3 – Характеристика Tesla Model X[5]

Тип двигуна	Трифазний асинхронний електродвигун
Тип акумулятора	Літій–іонний
Максимальний крутний момент електродвигуна	525 Н*м
Потужність електродвигуна	328 к.с. / 417 кВт
Акумуляторна батарея	75 кВт*год
Запас ходу	417 км
Час заряду(220В / 380В / DC)	20–30 год./3 год./30–40 хв.
Розгін до 100 км/год	6.2 с

Продовження таблиці 1.3 – Характеристика Tesla Model X

Максимальна швидкість	210 км/год
-----------------------	------------



Рисунок 1.6 – Tesla Model X

1.3.4. Tesla Model 3

Tesla Model 3 (рис. 1.7) – це четверта за рахунком модель компанії Tesla, яку виробник позиціонує як масової і найбільш доступною своєї моделі.

Базова ціна озвучена виробником для моделі – \$ 35 000 на США, але це далеко не межа оскільки автомобіль буде запропонований в декількох модифікаціях, що включають версії з розширеним запасом ходу і максимальним пакетом опцій.

Автомобільні критики та експерти високо оцінили автомобіль Tesla в багатьох аспектах, а саме системи круїз-контролю та системи автопілотування.

Автомобіль Tesla Model 3 має підсистему мультимедіа, яка позиціонує себе, як величезний дисплей. На цьому дисплеї виводяться всі дані з роботи систем автомобіля. За допомогою дисплею можливо скористатись GPS навігацією та

побудувати маршрут поїздки. Дисплей дуже простий та зрозумілий у використанні та управлінні.

Четверта за рахунком модель Tesla має систему автоматичного керування автопілотом. Автопілот входить до складу системи керування круїз-контролем. Система керування автопілотом не дає повноцінне автономне керування автомобілем, але дає змогу водію не використовувати багато зусиль за кермом, також водій має можливість відпочити чи спокійно користуватись мобільним телефоном. Але деякий час водій повинен слідкувати за дорогою та брати керування у свої руки, при виникненні небезпечних ситуацій. Система керування має датчики які стежать за положенням інших об'єктів, GPS навігацією, дорожньою розміткою. Також система автопілота має можливість сигналізувати водію про некоректне водіння та підрулювати при виході зі своєї смуги руху.

Система керування у Tesla Model 3 оновлюється за допомогою центру оновлення ПО.

Таблиця 1.4. – Характеристика Tesla Model 3[6]

Тип двигуна	Трифазний асинхронний електродвигун
Тип акумулятора	Літій-іонний
Максимальний крутний момент електродвигуна	636 Н*м
Потужність електродвигуна	260 к.с.
Акумуляторна батарея	81 кВт*год
Запас ходу	417 км
Час заряду(220В / 380В / DC)	20–30 год./4.5 год./50 хв.
Розгін до 100 км/год	5.1 с

Продовження таблиці 1.4 – Характеристика Tesla Model 3

Максимальна швидкість	225 км/год
-----------------------	------------



Рисунок 1.7 – Tesla Model 3

1.3.5 Nissan Leaf

Nissan Leaf(рис. 1.8)– п'ятидверний п'ятимісний міський хетчбек В класу. Nissan Leaf дебютував на токійському автосалоні ще в 2009 році. Крім країни висхідного сонця, автомобіль можна було придбати в Європі і США. Завдяки масі позитивних якостей, в 2011 році електрокар удостоївся премії всесвітнього автомобіля року.

Nissan Leaf має систему керування адаптивного круїз-контролю в межах однієї смуги руху. При активації системи керування задається діапазон швидкості автомобіля. Також система тримає дистанцію з автомобілем, який їде попереду та дозволяє тримати автомобіль на одній смузі руху.

Таблиця 1.5 – Характеристика Nissan Leaf [7]

Тип двигуна	ЕМ 58
Тип акумулятора	Літій-іонний

Продовження таблиці 1.5 – Характеристика Nissan Leaf

Максимальний крутний момент електродвигуна	320 Н*м
Потужність електродвигуна	150 к.с. / 120 кВт
Акумуляторна батарея	39 кВт*год
Запас ходу	243 км
Час заряду(220В / 380В / DC)	16 год./8 год./ 40 хв.
Розгін до 100 км/год	7.9 с
Максимальна швидкість	144 км/год



Рисунок 1.8 – Nissan Leaf

1.3.6 BMW i3

BMW i3(рис. 1.9) – перший серійний електромобіль німецької компанії BMW, вироблений з 2013 року. Компактний міський автомобіль створений на основі концепції гармонійного розвитку, у відповідність з якою вибір матеріалів,

виробничих процесів, постачальників комплектуючих і способів утилізації підпорядкований мінімізації впливу на навколишнє середовище.

Лояльність життєвого циклу моделі до природи оцінена незалежними експертами і визнана відповідає відповідним стандартам. Автомобіль набрав максимальну кількість балів в новітньому європейському рейтингу екологічності автомобілів Green NCAP. Був обраний «Світовим автомобілем» 2017 го року в категорії «Міські автомобілі».

Особливістю моделі є те, що управляти швидкістю автомобіля можна за допомогою однієї педалі. Як тільки водій відпускає педаль «газу», електромотор переходить в режим рекуперації. При цьому він створює пристойний гальмуючий момент на колесах і заряджає батарею. Водій натискає на педаль гальма тільки, якщо потрібна ще велика гальмівна сила. У педалі акселератора є, також, нейтральний режим. Якщо послабити натискання на педаль, не відпускаючи її, то електромотор переходить в режим холостого ходу, і автомобіль просто котиться, що не витрачаю енергію.

Таблиця 1.6 – Характеристика BMW i3[8]

Тип двигуна	Синхронний електродвигун
Тип акумулятора	Літій-іонний
Максимальний крутний момент електродвигуна	250 Н*м
Потужність електродвигуна	170 к.с. / 125 кВт
Акумуляторна батарея	44.2 кВт*год
Запас ходу	359 км
Час заряду(220В / 380В / DC)	15 год./3 год./ 45 хв.
Розгін до 100 км/год	7.3 с
Максимальна швидкість	150 км/год



Рисунок 1.9 – BMW i3

1.4 Системи автоматичного керування електромобілів

Система автоматичного керування електромобілем актуальна тема для реалізації на даний момент. Великі компанії виробники автомобілів та компонентів втілюють у життя автоматизовані системи керування. Найскладнішим завданням автоматизованого керування є система автопілота. Системи автоматичного керування ділять на 2 групи:

- 1) Повна автоматизація автомобіля(автопілот);
- 2) Автоматизація окремих конкретних задач (круїз-контроль, рух у пробках, помічник з паркування).

Повну автоматизацію автомобілів реалізують Google та Tesla.

На даний момент великими компаніями розроблюються автоматичні системи паркування. Автоматичну систему паркування мають такі бренди, як Volkswagen, Ford, Mercedes–Benz, Nissan, BMW, Opel, Toyota.

На базі системи круїз-контролю реалізується система керування автомобілем у заторах. Таку систему розробляють Audi та Ford. Також на базі такої системи реалізується система керування на автомагістралі. BMW, Cadillac розробляють таку систему опираючись на безпеці.

1.4.1 Безпілотний автомобіль Google

Корпорація Google втілює у життя свою систему автоматичного керування. Для проведення експерименту з системою автоматичного керування Google співпрацювала з такими брендами як Toyota, Lexus та Audi. Система автоматичного керування Google має наступні датчики: лідар, GPS датчик, інерційний датчик руху, радар, датчик оцінки місця положення та відеокамеру.

До функцій лідара входить сканування місцевості у радіусі 100 метрів та створення тривимірної картини оточення. Лідар прикріплюється до даху автомобіля.

GPS датчик приймає інформацію на антену та показує місце розташування автомобіля на даний момент.

Інерційний датчик руху отримує сигнал напряму прискорення або уповільнення, поздовжній і поперечний крен кузова автомобіля, при його русі.

Радари мають функцію упізнавання відстані віддалених об'єктів від автомобіля. У системі Google радари розташовані як спереду, так і ззаду.

Датчик оцінки місця положення дозволяє визначити місце положення автомобіля на карті. Датчик кріпиться на ліве заднє колесо.

Відеокамера визначає сигнали світлофора і дозволяє блоку управління розпізнавати рухомі об'єкти, в т.ч. пішоходів і велосипедистів. Відеокамера розташовується на лобовому склі за дзеркалом заднього виду.

Сигнали від вхідних пристроїв передаються в електронний блок управління, де проводиться їх обробка відповідно до закладеної програми і формування керуючих впливів на виконавчі пристрої. Як виконавчі пристрої використовуються конструктивні елементи рульового управління, гальмівної системи, системи курсової стійкості, системи управління двигуном.

Компанія Google у 2016 році створила окрему компанію під автоматизовані автомобілі та назвала її Waymo.(рис. 1.10).[9]



Рисунок 1.10 – Безпілотний автомобіль Google

1.4.2 Автопілот Tesla

У перший раз компанія Tesla почала використовувати автопілот на моделі Tesla Model S у 2015 році. Автопілот дозволяв автомобілю рухатися автономно на автомагістралі. Система керування автопілотом має наступні датчики: 8 камер огляду, 12 ультразвукових датчиків та головний радар.

При першому використанні автопілота у автомобілях Tesla було багато недоліків, які спричиняли аварійні та смертельні ситуації.

На даний момент система керування електромобілем у новому програмному забезпеченні покращилася. Система краще розпізнає смуги руху, пішоходів та велосипедистів. Покращення зумовлено постійним поліпшенням програмного забезпечення системи за рахунок зворотнього зв'язку з автомобілями.[10]



Рисунок 1.11 – Автопілот тесла

1.4.3 Система Temporary Auto Pilot

В рамках проекту HAVit (Highly Automated Vehicles for Intelligent Transport – високоавтоматизованими автомобілі для інтелектуального транспорту) в 2011 році була представлена напіваавтоматична система Temporary Auto Pilot (рис. 1.12), ТАР (Тимчасовий автопілот). Система дозволяє водієві в певних умовах віддати керування автомобілем під контроль автоматики. За своєю суттю система є проміжним етапом на шляху до роботизованому автомобілю.

Система ТАР об'єднує в єдине ціле вже відомі розробки Volkswagen: систему адаптивного круїз-контролю, систему допомоги руху по смузі, систему розпізнавання дорожніх знаків. У своїй роботі система Тимчасового автопілотування використовує стандартні входні пристрої перерахованих систем активної безпеки: лідар, радар, відеокамеру, ультразвукові датчики.

Сигнал від датчиків оброблюється та передається на електронний блок керування, який дає вплив на виконавчі механізми. Система керування реалізує наступні функції:

- підтримання безпечної відстані до автомобіля попереду, що йде;
- зупинка і рушання з місця;

- рух по смузї;
- розпізнавання знаків обмеження швидкості і приведення швидкості у відповідність до вимог знаків.[11]



Рисунок 1.12 – Система Temporary Auto Pilot

1.4.4 Система Traffic Jam Assist

Систему автоматичного руху в пробках готує Ford і планує її використання на серійних автомобілях до 2017 року. Система Traffic Jam Assist(рис 1.13) включає радар і камеру, які відстежують рух сусідніх машин. Електронний блок управління вибирає потрібну швидкість і забезпечує рух автомобіля в потоці[12].



Рисунок 1.13 – Система Traffic Jam Assistant

1.4.5 Система ConnectedDrive Connect

Система керування ConnectedDrive Connect (CDC) (рис.1.14) розробляється компанією BMW. CDC призначена для руху автомобіля на автомагістралі. До складу датчиків входять: ультразвуковий датчик, камера, радар та лідар. Сигнали з цих датчиків оброблюються у електронному блоці керування. В результаті виконується вплив на різні системи керування автомобіля, які змінюють швидкість та траєкторію руху автомобіля. У системі керування водій задає діапазон швидкості руху автомобіля. Також система керування не дозволяє виконувати обгін справа. Компанія BMW заявляє, що на даний час не готова застосовувати цю систему керування у серійному застосуванні[13].



Рисунок 1.14 – Система ConnectedDrive Connect

1.4.6 Система Super Cruise

Компанія Cadillac розробила систему автоматичного керування під назвою Super Cruise(рис. 1.15). Система керування забезпечує рух автомобіля по автомагістралі та дозволяє здійснювати рух по смузі без участі водія, гальмування, маневрування.

Автоматична система керування Super Cruise розроблена на ряді готових систем компанії, таких як система активного світла, система автоматичного екстреного гальмування, асистента руху по смузі, система попередження про зіткнення, адаптивного круїз-контролю та інших.

До складу датчиків автоматичної системи керування входять: радар, GPS навігація, камери та ультразвукові датчики. Компанія Cadillac заявляє, ефективність роботи системи зумовлено зовнішніми чинниками, такими як погода та наявність дорожньої розмітки[14].

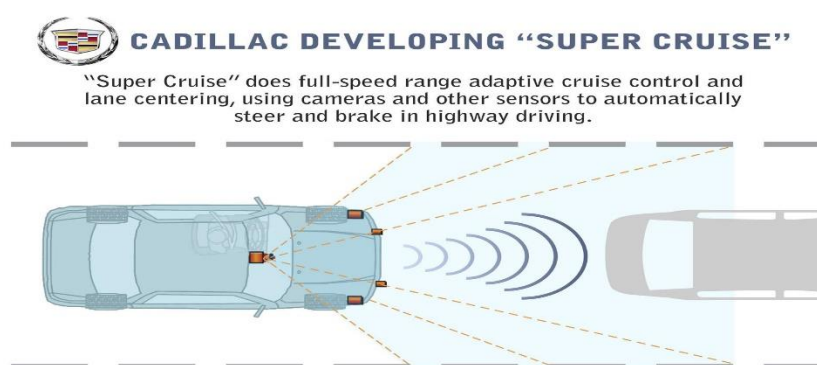


Рисунок 1.15. Система Super Cruise

1.4.7 Система SARTRE

Цікаве рішення автоматизації руху автомобіля пропонує компанія Volvo. Система Safe Road Trains for the Environment (SARTRE)(рис 1.16) дозволяє декільком машинам рухатися по дорозі в організованій колоні. Автомобілі йдуть за головною машиною, в якості якої вибирається вантажний автомобіль з водієм–професіоналом.

Автомобілі шикуються з дистанцією 6 м і повністю повторюють рух ведучого вантажівки, що дозволяє водієм відпочити, поїсти, поговорити по телефону.

За бажанням кожен з автомобілів в будь-який момент може покинути групу. Для створення системи SARTRE використовуються напрацювання Volvo в області активної безпеки, в т.ч. адаптивний круїз-контроль. В даний час система знаходиться в стадії випробувань[15].



Рисунок 1.16 – Система SARTRE

Таким чином у даній магістерській дисертації розроблено систему керування за 2 напрямом, а саме система керування круїз-контролем.

2 РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

2.1 Структурна схема цифрової системи керування електромобілем

Структурна схема призначена для відображення загальної структури системи, тобто його основних блоків, вузлів, частин та головних зв'язків між ними.

За результатами аналізу розглянутих систем та технічного завдання, в магістерській дисертації була розроблена електрична структурна схема цифрової системи керування електромобілем, яка представлена на рисунку 2.1.

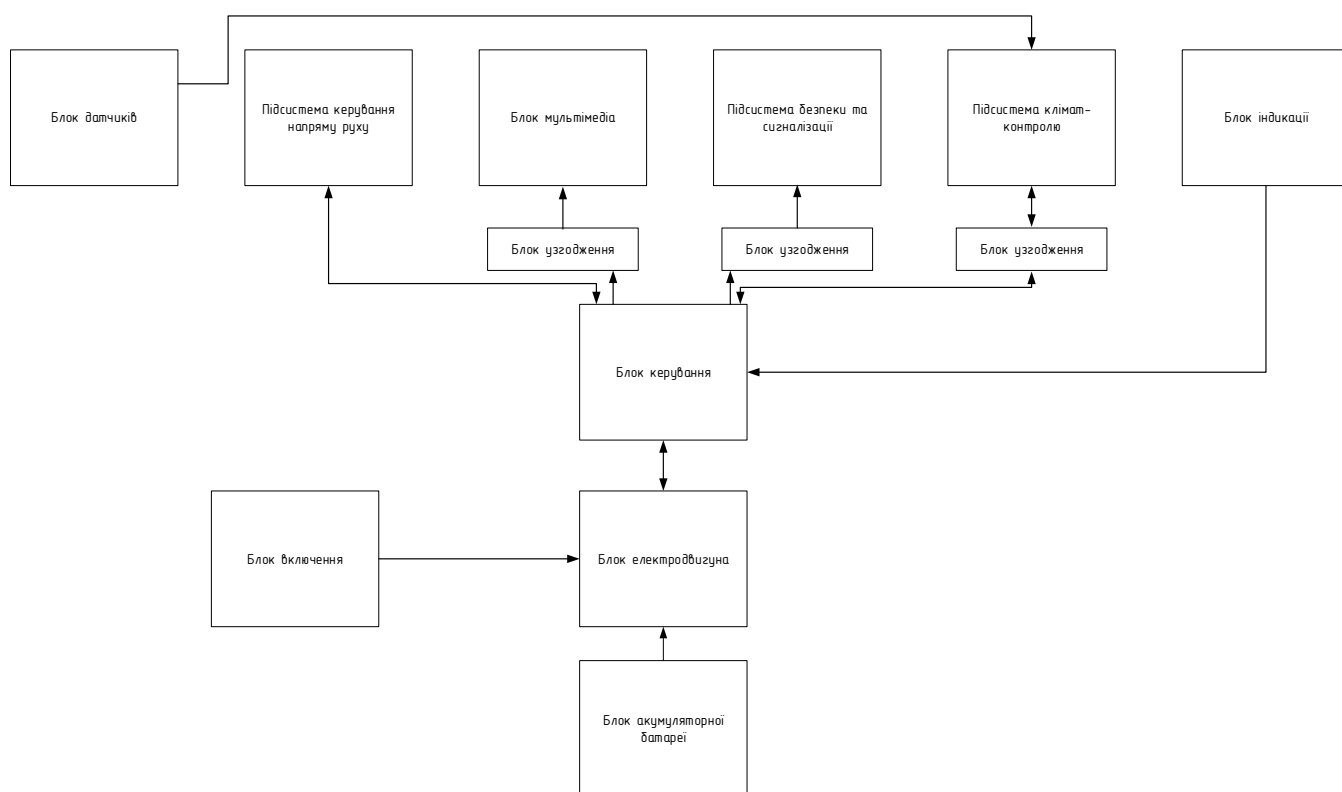


Рисунок 2.1 – Схема електрична структурна цифрової системи керування електромобілем

Усі елементи на схемі можна поділити на групи:

- 1) Отримання інформації;
- 2) Обробки інформації;
- 3) Виконавчі пристрої.

До складу пристроїв отримання інформації входять: блок датчиків, який включає в себе відеокамеру, GPS навігацію, датчик заряду акумулятора, ультразвуковий датчик, тахометр та інші.

До пристроїв обробки інформації відносяться електронний блок керування. Результатом роботи цього блоку є створення керуючого впливу на виконавчі механізми.

До виконавчих механізмів відносяться: блок електродвигуна.

Через різні інтерфейси електронний блок керування з'єднується з блоком мультимедіа, підсистемою безпеки та сигналізації та підсистемою клімат–контролю через блоки узгодження.

2.1.1 Блок акумуляторної батареї

Блок акумуляторних батарей являє собою літій–іонну батарею, роз'єм для підзарядки та сам підзарядний пристрій. Блок акумуляторної батареї під'єднується до блока електродвигуна та живить його електрострумом.

2.1.2 Блок електродвигуна

Блок електродвигуна являє собою асинхронний двигун. Від блока керування на блок електродвигуна поступають керуючі сигнали, які забезпечують відповідну швидкість електромобіля.

2.1.3 Блок включення

До блоку включення входить стартер, за допомогою якого водій вмикає електродвигун.

2.1.4 Блок датчиків

Блок датчиків приймає інформацію та відправляє її на підсистему керування напрямом руху та швидкості, підсистему клімат–контролю та підсистему безпеки та сигналізації.

До складу блоку датчиків входять відеокамера, GPS навігація, датчик заряду акумулятора, датчик температури, датчик вологості, датчик струму, ультразвуковий датчик, датчик положення педалі акселератора та тахометр.

Поточні дані з блоку датчиків через блок узгодження сигналів передаються на блок керування, де порівнюються з заданими параметрами. По сигналу відхилення відбувається сигнал керування.

2.1.5 Підсистема керування напрямом руху та швидкості

Підсистема керування напрямом руху та швидкості містить у собі: систему акселерації, гальміну систему

2.1.5.1 Система акселерації

Двигун керується електронним блоком керування, на педаль акселератора встановлен датчик положення педалі акселератора. Електричний сигнал з датчика поступає безпосередньо до електронного блоку керування, він передає інформацію про кут надавлення на педаль акселератора до електронного блоку керування, після чого електронний блок керування розраховує кут відкриття дросельної заслонки та передає необхідне зусилля на електропривод.

2.1.5.2 Гальмівна система

Принцип роботи гальмівної системи(рис. 2.2)[16]:

1. Натискання педалі гальма
2. Коли педаль рухається вниз, вона штовхає важіль, який з'єднаний з поршнем головного гальмівного циліндра

3. Важіль штовхає поршень у вузький циліндр, який заповнений гідравлічною гальмівною рідиною. Коли поршень переміщається в циліндрі, він стискає гальмівну рідину і штовхає її в вузький отвір, розташоване в кінці циліндра, до якого приєднана трубка.

4. В результаті утворився тиску гальмівна рідина потрапляє в довгу гальмівну магістраль, що складається з гальмівних трубок, які підходять до кожного колеса. В результаті нагнітання тиску головним гальмівним циліндром, гальмівна рідина в результаті досягає кожного колеса.

5. Далі рідина під тиском потрапляє в гальмівні циліндри, розташовані в колесах, які мають більший розмір, ніж головний гальмівний циліндр;

6. Коли рідина потрапляє в гальмівний циліндр, що має більший обсяг у порівнянні з головним гальмівним циліндром, то сильно збільшується гальмівне зусилля через різницю обсягів циліндрів в гальмівній системі.

7. В результаті збільшеного тиску рідини поршень в гальмівному циліндрі колеса затискає гальмівну колодку, притискаючи її до гальмівного диска / барабану.

8. В результаті тертя гальмівної колодки і гальмівного диска починається уповільнення колісного диска, що в кінцевому підсумку і зупиняє машину.

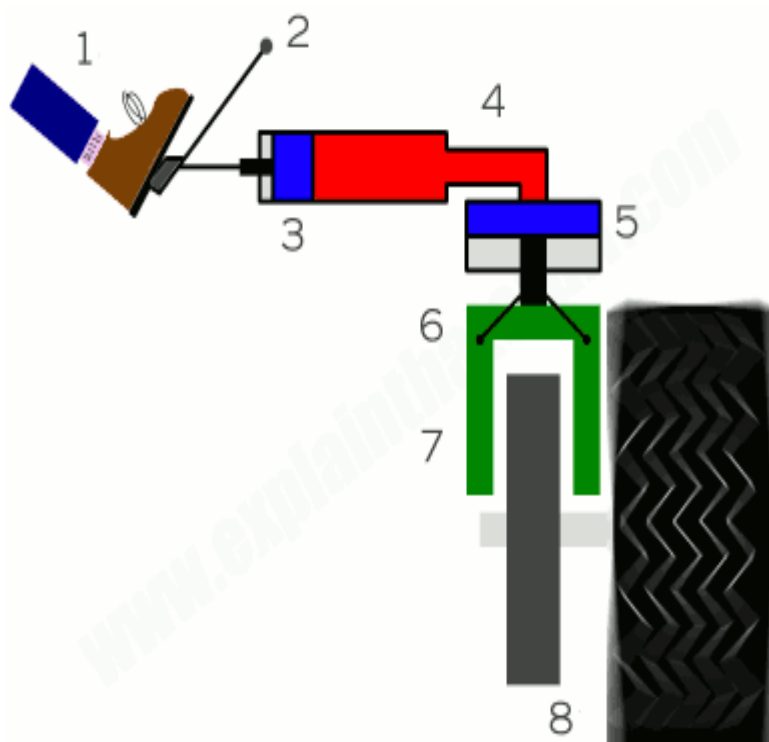


Рисунок 2.2 – Гальмівна система

Система курсової стійкості (інше найменування – система динамічної стабілізації, ESP) призначена для збереження стійкості і керованості автомобіля за рахунок завчасного визначення та усунення критичної ситуації. З 2011 року оснащення системою курсової стійкості нових легкових автомобілів є обов'язковим в США, Канаді, країнах Євросоюзу[17].

Під час нормальної їзди ESP постійно контролює рульове управління та напрямки автомобіля. Він порівнює передбачуваний напрям водія (визначається вимірюваним кутом керма) з фактичним напрямком транспортного засобу (визначається за допомогою вимірюваного бічного прискорення, обертання транспортного засобу та індивідуальної швидкості колісних коліс).

ESP втручається лише тоді, коли виявляє ймовірні втрати управління кермом, наприклад, коли транспортний засіб не їде туди, куди керує водій. Це може статися, наприклад, під час ковзання під час аварійних ухилень від поворотів, нижнього перекриття або завищення під час погано оцінених поворотів на слизьких дорогах або гідропланування. Під час вискоєфективної їзди ESP може втручатися в разі небажаності, оскільки вхід рульового управління не завжди може вказувати на передбачуваний напрям руху (наприклад, під час керованого дрейфу). ESP оцінює напрямки ковзання, а потім застосовує гальмо на окремих колесах несиметрично, щоб створити крутий момент щодо вертикальної осі транспортного засобу, протиставляючи ковзання та приводячи транспортний засіб назад у відповідність із розпорядженням водія. Крім того, система може зменшити потужність двигуна або керувати коробкою передач, щоб уповільнити рух автомобіля.

ESP може функціонувати на будь-якій поверхні, від сухої бруківки до заморожених озер. Він реагує і виправляє занос набагато швидше та ефективніше, ніж типовий водій людини, часто до того, як водій навіть усвідомлює будь-яку неминучу втрату контролю. Це призвело до певного занепокоєння, що ESP може дозволити водіям переконатись у впевненості у керуванні своїм транспортним засобом та / або власними навичками водіння. З цієї причини системи ESP, як правило, попереджають водія під час втручання, щоб водій усвідомлював, що досягнуті межі керування транспортним засобом. Більшість активує індикатор та / або сигнал оповіщення на

панелі приладів; деякі навмисно дозволяють виправленому ходу автомобіля дуже незначно відхилитися від керованого водієм напрямку, навіть якщо можливо точніше відповідати йому.

Усі виробники ESP підкреслюють, що система – це не підвищення продуктивності, ані заміна безпечної практики водіння, а швидше безпека технологія, яка допомагає водієві оговтатися від небезпечних ситуацій. ESP не збільшує тягу, тому не дозволяє швидше повернути повороти (хоча це може полегшити краще керовані повороти). Загалом, ESP працює в межах керованості транспортним засобом та наявної тяги між шинами та дорогою. Нерозсудливий маневр все ще може перевищувати ці межі, що призводить до втрати контролю. Наприклад, під час гідропланування колеса, які ESP використовує для виправлення ковзання, можуть втратити контакт з дорожнім покриттям, знизивши його ефективність.

Через те, що контроль стабільності може бути несумісним з високоефективним керуванням, у багатьох транспортних засобах є керований контроль, який дозволяє частково або повністю відключити систему. У простих системах одна кнопка може відключити всі функції, тоді як складніші установки можуть мати багатопозиційний перемикач або ніколи не бути повністю відключеним. ABS (антиблокіровачна система) – система, що запобігає блокуванню колістраспортного засобу при гальмуванні.

Контролер антиблокувального гальма також відомий як CAB (Controller Anti-lock Brake).

Зазвичай ABS включає центральний електронний блок управління (ECU), чотири датчики швидкості колеса та щонайменше два гідравлічні клапани в межах гальмівної гідравліки. ECU постійно стежить за швидкістю обертання кожного колеса; якщо він виявляє, що колесо обертається значно повільніше, ніж швидкість транспортного засобу, умова, що вказує на замикання колеса, що насувається, він спрацьовує клапани для зменшення гідравлічного тиску до гальма на ураженому колесі, зменшуючи тим самим гальмівну силу на цьому колесі; колесо потім обертається швидше. І навпаки, якщо ECU виявляє, як колесо повертається значно швидше, ніж інші, гідравлічний тиск гальма на колесо збільшується, тому гальмівна

сила знову застосовується, уповільнюючи колесо. Цей процес повторюється безперервно і його може виявити водій за допомогою пульсації педалі гальма. Деякі антиблокувальні системи можуть застосовувати або відпускати гальмівний тиск 15 разів на секунду. Через це колеса автомобілів, обладнаних ABS, практично неможливо зафіксувати навіть під час панічного гальмування в екстремальних умовах.

ECU запрограмований на знехтування різницею швидкості обертання колеса нижче критичного порогу, оскільки коли автомобіль повертається, два колеса у напрямку до кривої повертаються повільніше, ніж зовнішні два. З цієї ж причини диференціал використовується практично у всіх дорожніх транспортних засобах.

Якщо несправність розвивається в будь-якій частині АБС, на панелі приладів автомобіля зазвичай загорятиметься попереджувальний індикатор, а АБС буде вимкнено, поки несправність не буде усунена.

Сучасний ABS застосовує індивідуальний тиск на гальмах на всі чотири колеса через систему управління датчиками, встановленими на маточині, та спеціалізованим мікроконтролером. ABS пропонується або є стандартним для більшості дорожніх транспортних засобів, що випускаються сьогодні, і є основою для електронних систем контролю стабільності, які швидко зростають у популярності через величезне зниження цін на електроніку транспортних засобів протягом багатьох років.

Сучасні електронні системи контролю стабільності – це еволюція концепції ABS. Тут додано мінімум два додаткових датчика, щоб допомогти системі працювати: це датчик кута руля та гіроскопічний датчик. Теорія роботи проста: коли гіроскопічний датчик виявить, що напрямок руху автомобіля не збігається з тим, про що повідомляє датчик рульового колеса, програмне забезпечення ESP гальмує необхідні індивідуальні колеса (до трьох із найскладнішими) системи), щоб транспортний засіб рухався шляхом, який водій має намір. Датчик кермового колеса також допомагає в роботі Cornering Brake Control (CBC), оскільки це скаже ABS, що колеса на внутрішній стороні кривої повинні гальмувати більше, ніж колеса на зовнішній стороні, і на скільки.

Обладнання ABS також може використовуватися для впровадження системи управління тягою (TCS) при прискоренні автомобіля. Якщо при розгоні шина втрачає тягу, контролер ABS може виявити ситуацію та вжити відповідних заходів, щоб відновити тягу. Більш складні версії цього способу також можуть одночасно контролювати рівень дросельної заслінки та гальмо.

Датчики швидкості ABS іноді використовуються в системі непрямого контролю тиску в шинах (TPMS), яка може виявляти недостатню інфляцію шин за різницею швидкості обертання коліс[18].

2.1.5.2 Рульове керування

Електронна система адаптивного рульового управління включає входні датчики, електронні блоки управління і виконавчі пристрої.

В системі використовується два види датчиків: кута повороту рульового колеса і зусилля на колесі. Датчик кута повороту рульового колеса фіксує фактичний кут повороту. Інформація від датчика використовується для обчислення кута повороту передніх коліс.

Датчик зусилля на колесі встановлюється в рульовому механізмі передніх коліс. Він служить для формування зворотного зв'язку з рульовим колесом в залежності від умов руху.

Сигнали від датчиків надходять в електронні блоки управління. Безпечну роботу системи адаптивного рульового управління забезпечують три блоки управління (перший ступінь захисту). Вони постійно контролюють роботу один одного з готовністю в будь-який момент взяти на себе функції сусіда. У своїй роботі блоки управління взаємодіють з іншими системами автомобіля. У відповідності з розміщеною програмою блокуються керуючі управляючі пристрої на виконавчих пристроях: сервопривід рульового механізму, сервопривід рулевого колеса, електромагнітне сцеплення. Сервопривід рульового механізму забезпечує поворотний колес на конкретний угол. У системі використовується окремий сервопривід на кожен з передніх колес. Сервопривід рульового колеса створює

електронну симуляцію природного опору на рульовому колесі, три зворотну зв'язку з дорогою.

Відповідно до закладеної програми блоки формують управлінський вплив на виконавчі пристрої: сервопривід рульового механізму, сервопровод рульового колеса, електромагнітне зчеплення. Сервопривод рульового механізму забезпечує поворот коліс на певний кут. В системі використовується окремий сервопривід на кожне з передніх коліс. Сервопривод рульового колеса створює електронну симуляцію природного опору на рульовому колесі, т.зв. зворотний зв'язок з дорогою.

Електромагнітне зчеплення є важливим елементом безпеки (другий ступінь захисту). При подачі електричної енергії зчеплення розмикається, рульове управління здійснюється по проводах. При припинення подачі електричної енергії (в тому числі в аварійній ситуації) зчеплення замикається, рульове керування здійснюється за традиційною механічною схемою. Електромагнітне зчеплення встановлюється в розрізі рульової колонки.

Робота електронної системи адаптивного рульового управління здійснюється наступним чином. Коли водій обертає рульове колесо, датчик кута повороту рульового колеса зчитує зміну кута, а електронний блок управління розраховує необхідний кут повороту передніх коліс. Сервоприводи рульового механізму переміщують рульову рейку і забезпечують поворот коліс на розрахунковий кут. Фактичне зусилля повороту на колесі вимірюється відповідним датчиком і передається в блок керування. Після обробки інформації блок управління посиляє сигнал на сервопривід рульового колеса для імітації зворотного зв'язку з дорогою.

Система адаптивного рульового управління має кілька суттєвих переваг, що відрізняють її від традиційного механічного управління:

- швидкодія;
- точність управління;
- відсутність вібрацій на рульовому колесі;
- можливість реалізації нових функцій.

Прямий цифровий канал від рульового колеса до рульової рейки і назад забезпечує високу швидкодію і точність руху по обраній траєкторії, що робить

керування транспортним засобом більш комфортним, інформативним і безпечним. Крім того, система дозволяє рухатися прямолінійно при сильному поперечному вітрі без підрулення. Система захищає водія і від надмірних вібрацій керма, які спостерігаються при русі по нерівних дорогах. При цьому зберігається зв'язок з дорогою.

Система адаптивного рульового управління відкриває широкі перспективи для реалізації нових функцій, особливо в частині активної безпеки. В даний час на базі системи побудована активна система руху по смузі, в якій за допомогою відеокамери і блоку управління здійснюється автоматичне утримання автомобіля в центрі смуги руху[19].

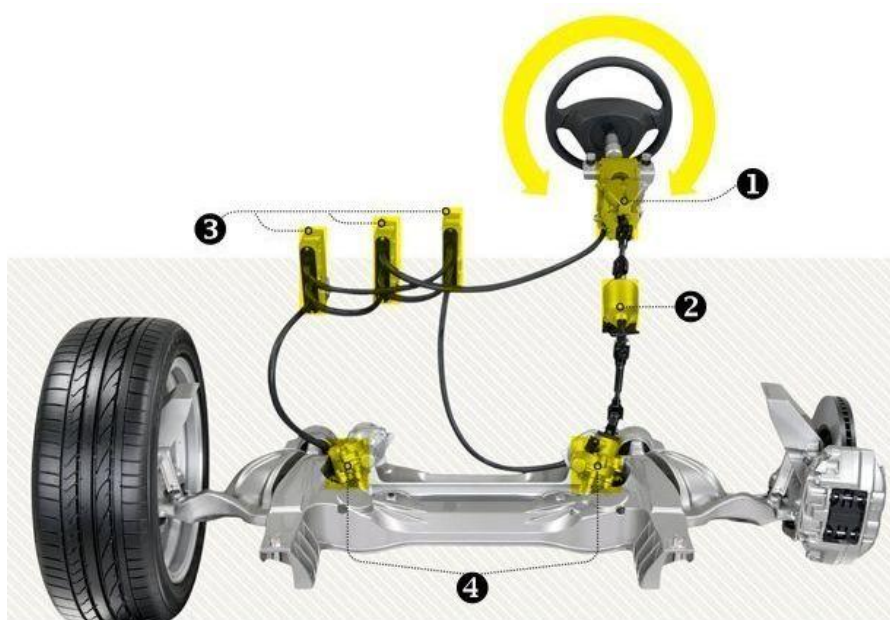


Рисунок 2.3 – Система адаптивного рульового управління

1. Сервопривід рульового колеса;
2. Електромагнітне зчеплення;
3. Електронні блоки управління;
4. Сервоприводи рульового механізму.

2.1.6 Блок мультімедіа

Блок мультимедіа використовується в якості сенсорного екрану. Блок мультимедіа включає такі функції:

1. GPS навігація;
2. Стан системи електромобіля;
3. Переключати музику та відео;
4. Інтернет–браузер;
5. Камера заднього виду;
6. Телефон;
7. Радіо.

2.1.7 Підсистема безпеки та сигналізації

До системи безпеки та сигналізації входять:

1. Водійське та пасажирські місця;
2. Ремень безпеки;
3. Подушки безпеки;
4. Датчик удару;
5. Звукова сигналізація;
6. Брелок сигналізації;
7. Антена–приймач.

2.1.8 Блок індикації

До блоку індикації входять вказівники поворотів, приладова панель електромобіля.

2.2 Функціональна схема цифрової системи керування електромобілем

На базі структурної схеми розроблено схему електричну функціональну, яка представлена на рисунку 2.4.

Виконавчим пристроєм на схемі є МК(мікроконтролер).

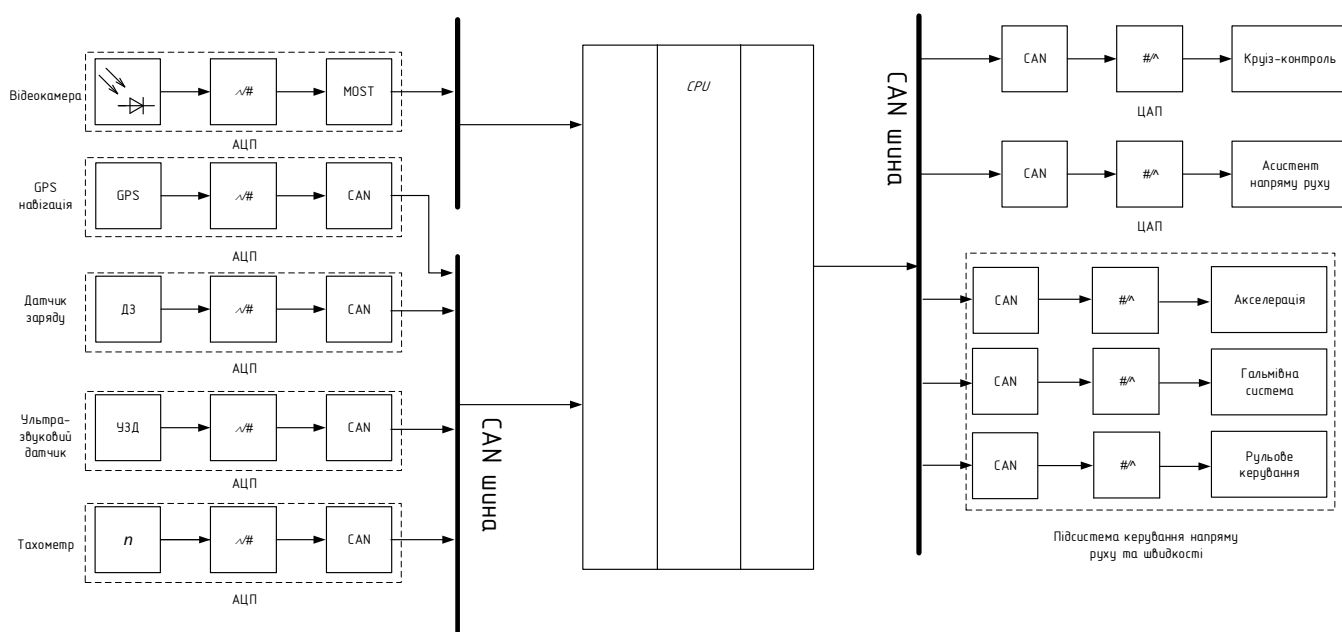


Рисунок 2.4 – Електрична функціональна схема цифрової системи керування електромобілем

CAN (Controller Area Network) – це інтерфейс передачі інформації. CAN–шина призначена для з'єднання між собою всіх датчиків, блоків і електронних систем автомобіля, збору дані від них, обміну інформацією між ними, а також управління. Всі дані про стан всіх електронних систем і командні сигнали, в CAN–шині, передаються за допомогою двох кручених дроти, зі швидкістю передачі даних до 1 Мбіт / с. До кожного елементу подається і напруга від бортової мережі, але на відміну від звичайної електропроводки – все компоненти з'єднані паралельно, тому не потрібно підводити від кожної кнопки до кожного виконавчого механізму свій провід. Все це значно спрощує прокладку проводки, знижує кількість проводів і підвищує в цілому надійність всієї електронної системи автомобіля.

2.2.1 Відеокамера

Сигнал приходить до світлочутливої матриці, далі проходить через аналого–цифровий переворювач. Потім підключається до МК через шину MOST.

2.2.2 GPS навігація

Сигнал з датчику GPS проходить через аналого–цифровий перетворювач, а далі підключається до МК через шину CAN.

2.2.3 Датчик заряду

Сигнал з датчику заряду батареї надходить до аналого–цифрового перетворювача та підключається до МК через шину CAN.

2.2.4 Ультразвуковий датчик

Ультразвуковий датчик потрібен для виявлення перешкод поруч. Сигнал з датчику обробляється аналого–цифровим перетворювачем та підключається до МК через шину CAN.

2.2.5 Тахометр

Тахометр міряє швидкість електромобіля, далі сигнал від тахометра йде до МК через аналого–цифровий перетворювач. Датчик під'єднується до МК через шину CAN.

2.2.6 Підсистема керування швидкості та напрямку руху

Елементами підсистеми керування швидкості та напрямку руху є акселерація, гальмівна система та рульове керування. Сигнал від підсистеми керування швидкості та напрямку руху йде через аналого–цифровий перетворювач. Оцифрований сигнал потрапляє на МК через шину CAN.

2.2.7 Круїз–контроль

Сигнал від МК до цифрово–аналогового перетворювача йде через шину CAN, далі йде до системи круїз–контролю.

2.2.8 Асистент напрямку руху

Сигнал від МК до цифрово–аналогового перетворювача йде через шину CAN аналогічно, потім надходить до системи круїз–контролю.

2.3 Висновки до розділу

Таким чином розроблена схема електрична структурна та схема електрична функціональна цифрової системи керування електромобілем.

На основі структурної та функціональної схеми розроблено математичну модель системи керування круїз–контролем.

3 РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Мета цифрової системи управління електромобілем – підвищити ефективність керування електромобілем.

По заданим технічним характеристиками функціонування електромобіля, він повинен забезпечувати номінальну швидкість руху 70 км/год.

В розробленій структурній схемі системи керування круїз-контролем основними елементами являються сам автомобіль, соленоїд з дросельною заслінкою та система керування.

Для розроблення моделі такої системи було використано передаточні функції, які описують динамічні системи. Параметри передавальних функцій розраховувались аналогічно, представленим розрахункам в [23].

Модель круїз-контролю представлена на рисунку 3.1.

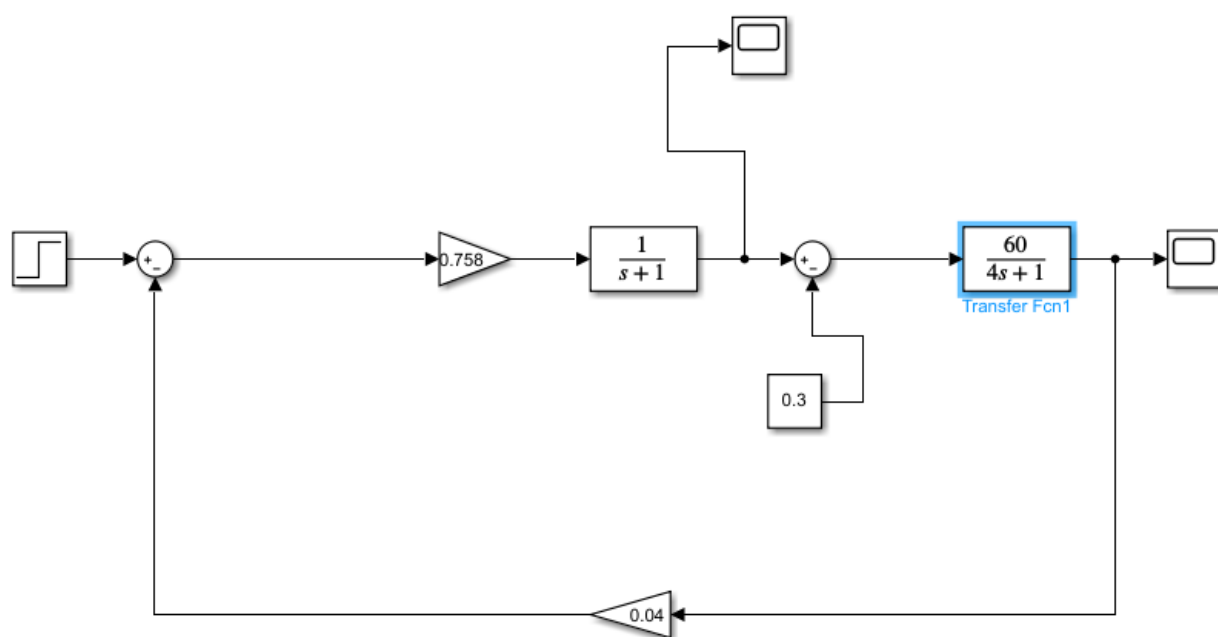


Рисунок 3.1 – Модель системи керування

З динамічних характеристик основних сегментів були обрані їх передаточні функції.

Математична модель цифрової системи керування електромобілем складається з блоку швидкості, коефіцієнту соленоїда, блоку електродвигуна, блоку електромобіля й навантаження, датчика положення дросельної заслінки, збурювального моменту та осцилографа.

3.1 Блок завдання

Початковим сигналом була обрана швидкість електродвигуна. Швидкість проходить через суматор, від якої відіймається компенсаційний потік швидкості швидкості помножений на коефіцієнт датчику положення дросельної заслінки, та під'єднується до соленоїда.

У блоці завдання параметр швидкості електродвигуна 70 км/год (рис. 3.2).

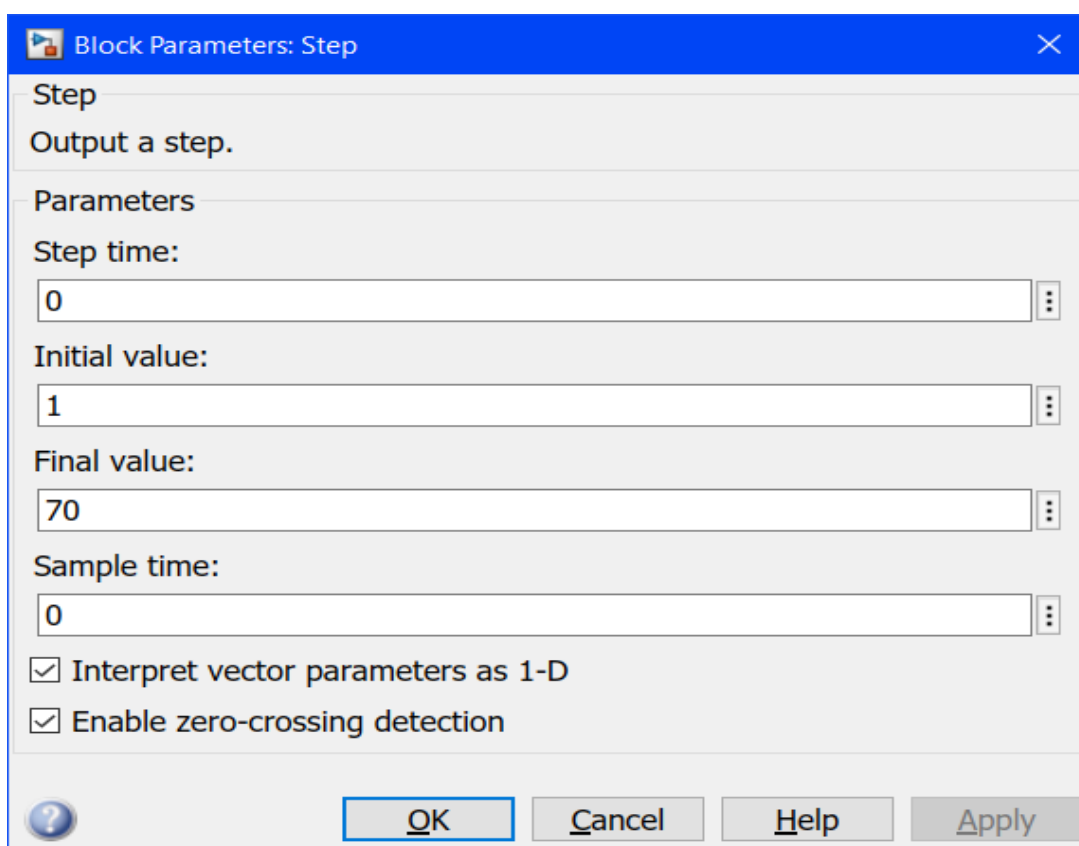


Рисунок 3.2 – Блок швидкості

3.2 Блок соленоїда

Соленоїд – тип електромагніту, мета якого – генерувати кероване магнітне поле через намотану котушку в щільно упаковану спіраль.

Соленоїд потрібен для першої прокрутки шестерень на валу двигуна. Коефіцієнт соленоїда було задано 0.758(3.1). Блок соленоїда зображений на рисунку 3.3.

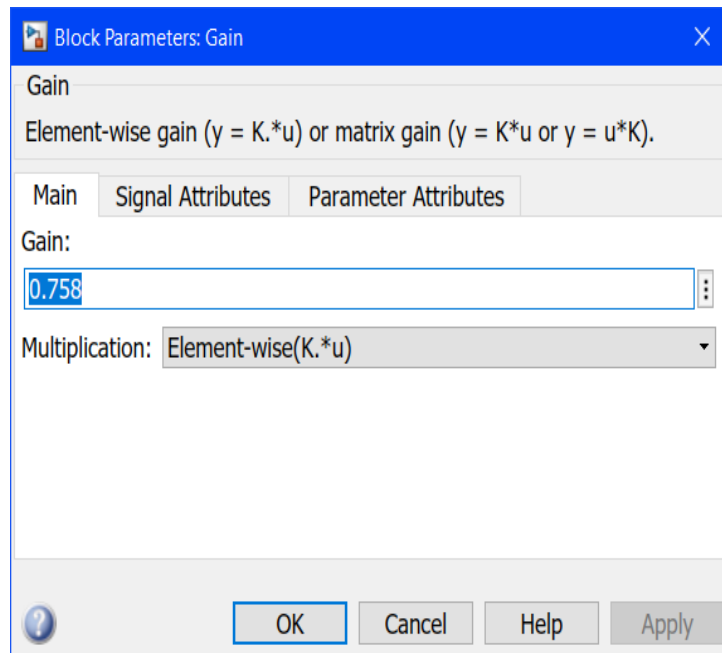


Рисунок 3.3 – Блок соленоїда

Сигнал з блоку соленоїда потрапляє на блок двигуна. Соленоїд(3.1) – це електромагнітний клапан, який регулює положення дросельної заслінки.

$$W_C(S) = K = 0.758 \quad (3.1)$$

3.3 Блок виконавчих двигунів

Блок двигуна представлено у вигляді передаточної функції(3.2):

$$W_d = \frac{1}{s + 1} \quad (3.2)$$

Для запису передаточної функції використаємо блок Transfer Fcn(рис. 3.4).

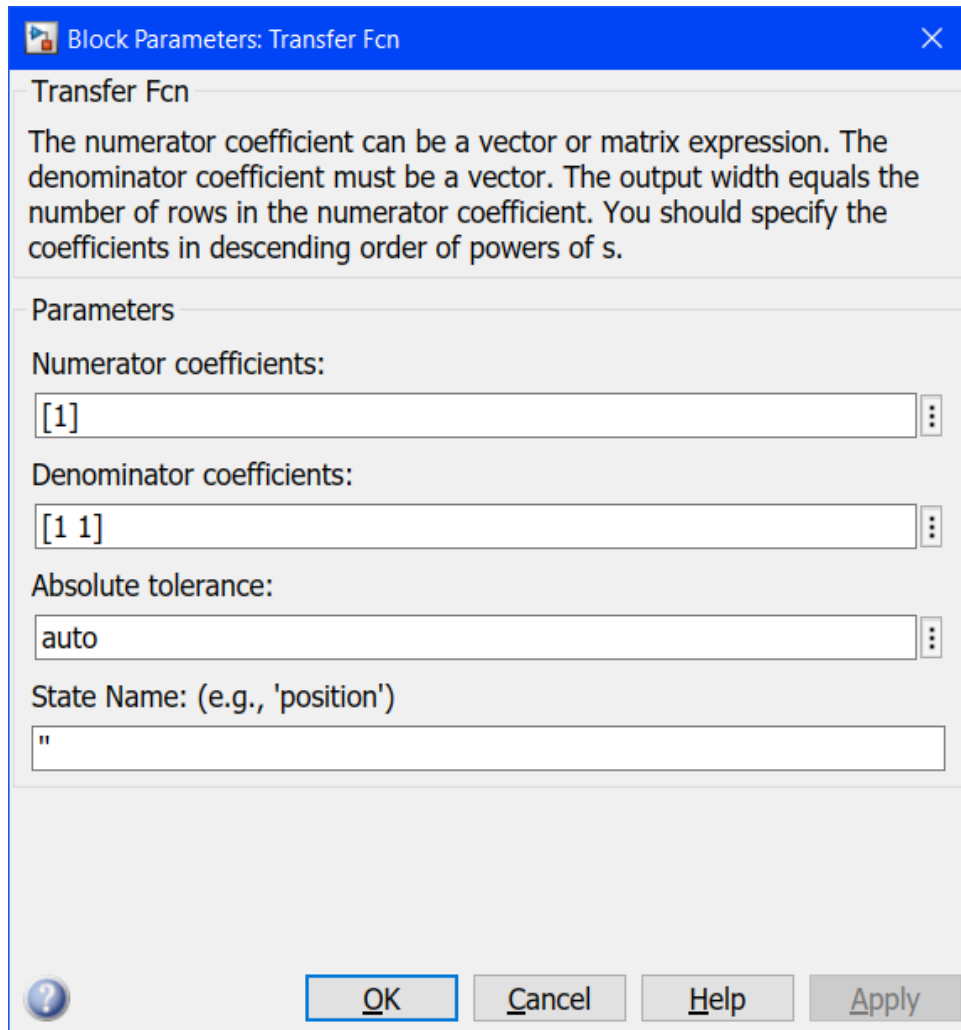


Рисунок 3.4 – Блок виконавчих двигунів

Двигун представлено аперіодичною ланкою 1–го порядку з постійною часу 1 с.

Сигнал від двигуна показує крутний момент двигуна. Цей сигнал подається на суматор, де відіймається збурювальний момент тертя коліс об дорогу.

3.4 Електромобіль та навантаження

Блок електромобіля та навантаження описано передаточною функцією 1–го порядку з постійною часу 4 с(3.3):

$$W_E = \frac{60}{4s + 1} \quad (3.3)$$

Для запису передаточної функції у математичну модель програмного забезпечення Simulink застосовано блок Transfer Fcn(рис. 3.5):

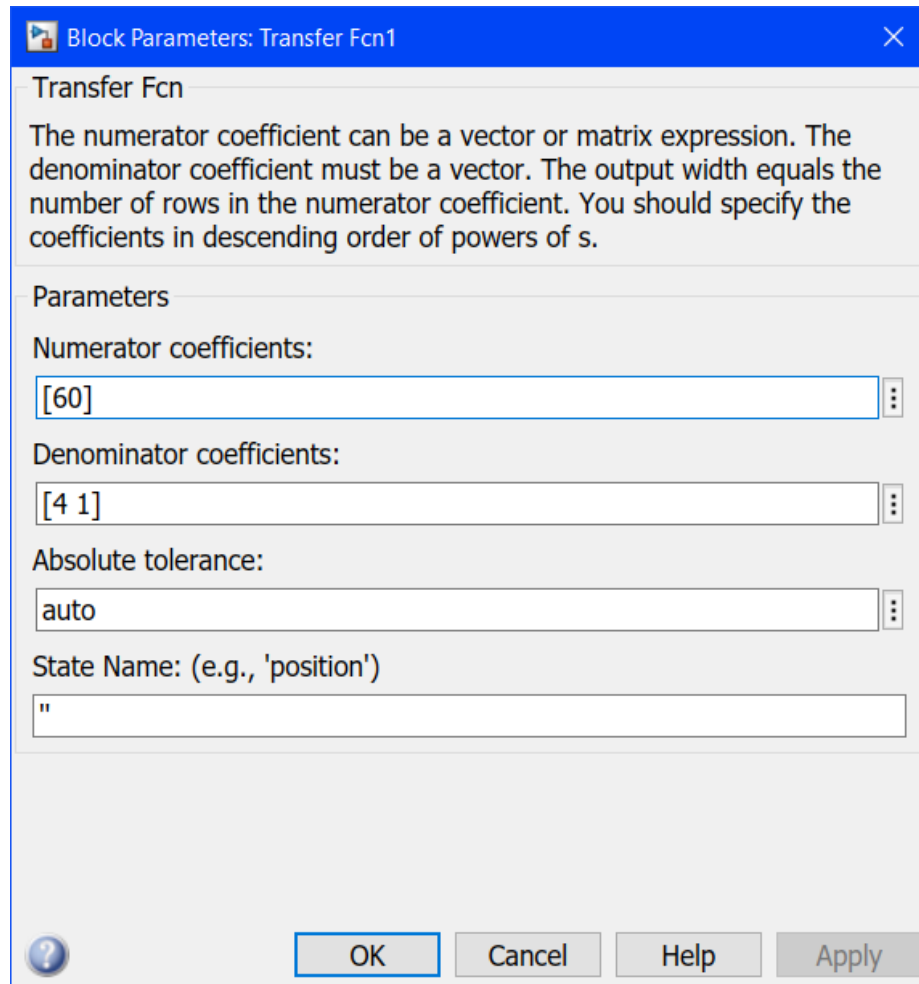


Рисунок 3.5 – Блок електромобіля та навантаження

Сигнал від блоку електромобіля та навантаження йде на осцилограф та показує швидкість електромобіля.

3.5 Блок збурювального моменту

Збурювальним моментом обрано коефіцієнт тертя коліс автомобіля о покриття дороги(рис 3.6) та описується наступною передавальною функцією(3.4):

$$W_{\text{ЗМ}}(S) = K = 0.3 \quad (3.4)$$

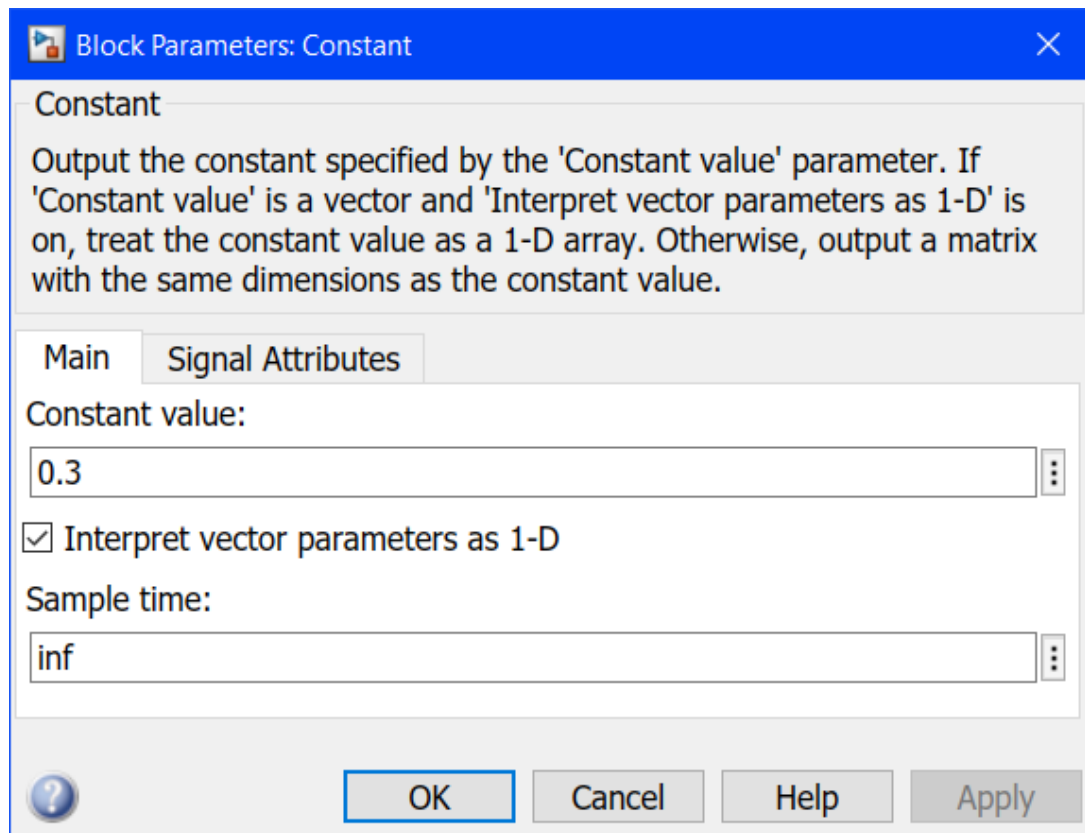


Рисунок 3.6 – Блок збурювального моменту

3.6 Блок датчика положення дросельної заслінки

Датчик положення дросельної заслінки(ДПДЗ) – пристрій, призначений для перетворення кутового положення дросельної заслінки в напругу постійного струму.

За сигналом ДПДЗ контролер визначає поточний стан дросельної заслінки, а за швидкістю зміни сигналу відстежується динаміка натискання педалі акселератора, що в свою чергу є визначальним фактором для включення режимів кикдауна або активації подачі повітря в обхід дросельної заслінки через клапан холостого ходу. За сигналом ДПДЗ контролер відстежує кут відхилення дросельної заслінки. У режимі запуску двигуна контролер відстежує кут відхилення дросельної заслінки і, якщо заслінка відкрита більше ніж на 75%, переходить на режим продувки двигуна. За сигналом ДПДЗ про крайньому положенні дросельної заслінки – в закритому стані

(<0.7V), контролер починає управляти регулятором холостого ходу (PXX) і, таким чином, здійснює додаткову подачу повітря в двигун в обхід закритої дросельної заслінки.

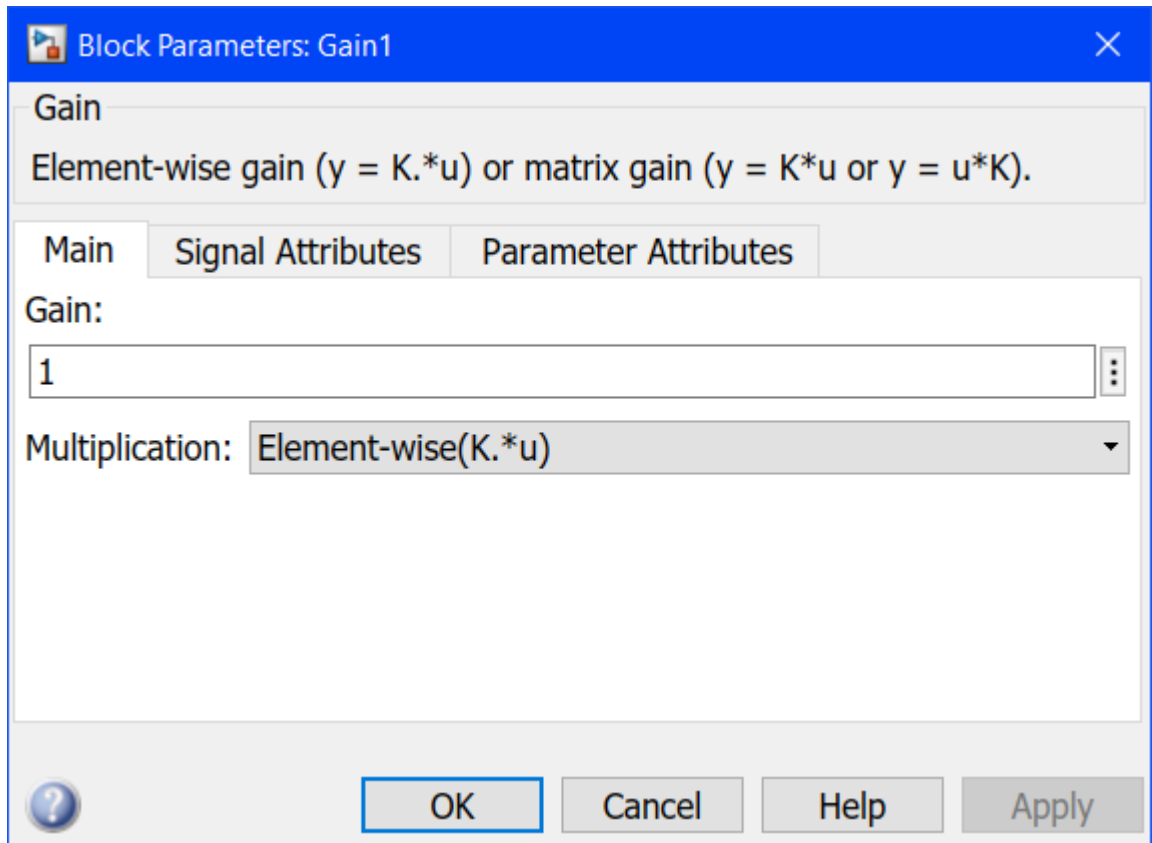


Рисунок 3.7 – Блок датчика положення дросельної заслінки

Коефіцієнт датчика положення дросельної заслінки задано 1.

Сигнал від електромобіля та навантаження йде по компенсаційному потоку та підсилюється коефіцієнтом датчика дросельної заслінки, далі подається на суматор.

3.7 Швидкість електромобіля

Моделювання системи круїз-контролю показано на рисунку 3.9.

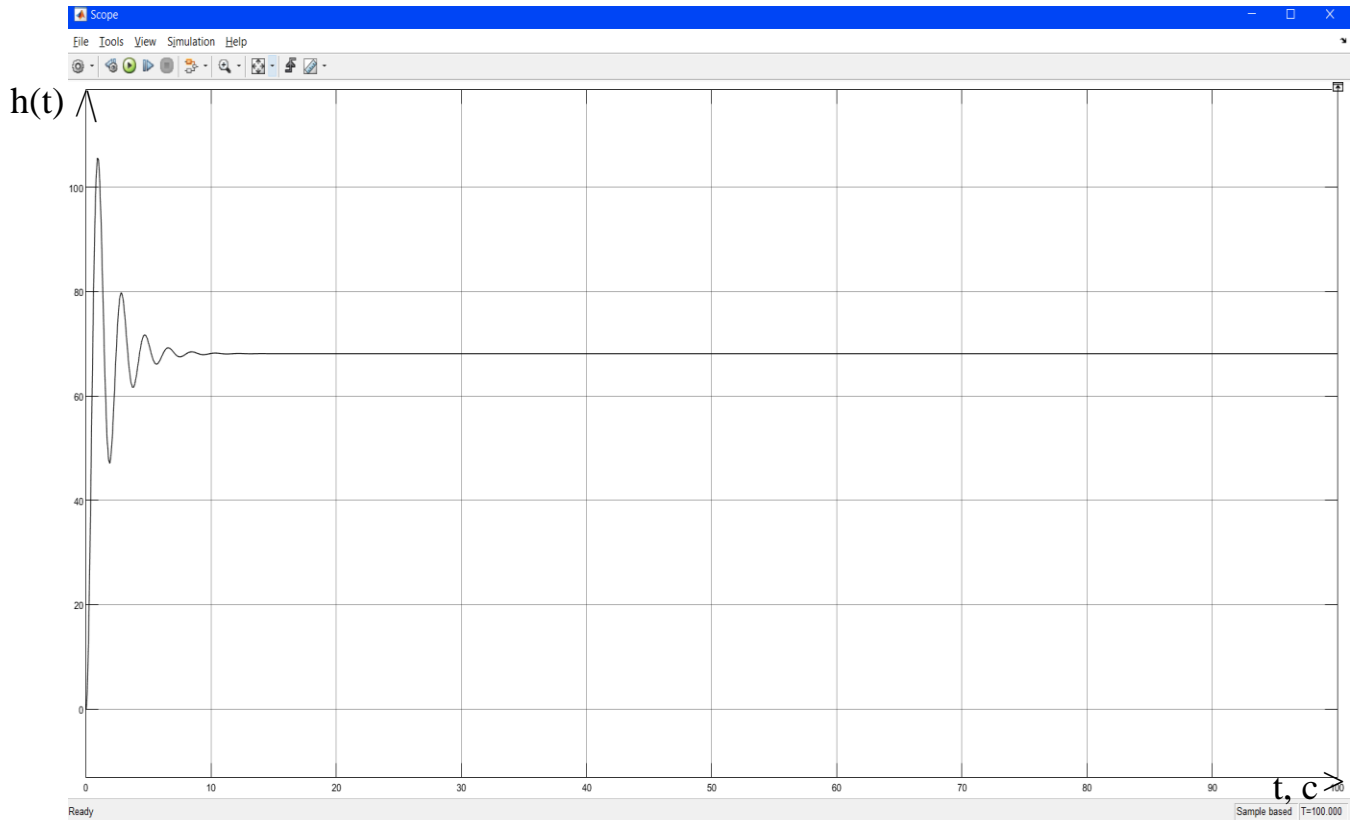


Рисунок 3.8 – Швидкість електромобіля

На базі математичної моделі системи керування з використанням прикладного пакету MATLAB/SIMULINK отримано графік перехідного процесу.

За графіком(рис. 3.8) визначені наступні показники якості:

$$t_{пп}=11.4, h_{ст}=68 \text{ км/год}, \sigma = 72.5\%.$$

Таким чином, так як якість регулювання не задовільняють вимоги технічного завдання. Необхідно виконати синтез ПД-регулятора.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ТА ЯКОСТІ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КРУЇЗ-КОНТРОЛЕМ

4.1 Z–перетворення

Система автоматичного керування називається дискретною якщо вихідна величина якого–небудь з її елементів носить дискретний характер[20].

Класифікація дискретних систем за виглядом квантування сигналу:

- за часом (імпульсні системи);
- за рівнем (релейні системи);
- за рівнем і часом (цифрові системи).

Системи автоматичного керування з цифровими ЕОМ (чи цифровими обчислювальними пристроями) називають цифровими системами керування.

Найбільш придатними методами для дослідження цифрових систем є методи розрахунку засновані на розгляді лінеаризованих імпульсних систем з урахуванням квантування за рівнем.

Лінійною системою імпульсного керування називається така система що містить імпульсну ланку чи ланки що перетворюють вхідний вплив у послідовність імпульсів.

Під ідеальним імпульсним елементом розуміють амплітудно–імпульсний модулятор що модулює безперервний вхідний сигнал у вигляді послідовності короткочасних імпульсів нескінченної амплітуди й одиничної площі (δ – функція) з частотою повторення $f = \frac{1}{T_0}$, де T_0 – період повторення імпульсів.

Формуючий елемент являє собою безперервну частину системи і характеризується тим що його реакція на δ – функцію збігається за формою з імпульсами на виході реального імпульсного елемента.

Формуючий елемент із передавальною функцією називається фіксатором нульового порядку(4.1).

$$W(s) = \frac{1 - e^{-T_0 s}}{s} \quad (4.1)$$

Звичайно фіксатор нульового порядку відносять до безперервної частини системи і разом з нею називають приведеною безперервною частиною (ПБЧ).

Передавальна функція приведеної безперервної частини обчислюється наступним чином:

$$W_{\text{ПБЧ}}(z) = \mathbb{Z} \left\{ \frac{1 - e^{-T_0 s}}{s} W_{\text{БЧ}}(s) \right\} = \mathbb{Z} \left\{ \frac{W_{\text{БЧ}}(s)}{s} \right\} - \mathbb{Z} \left\{ \frac{e^{-T_0 s} W_{\text{БЧ}}(s)}{s} \right\} \quad (4.2)$$

Застосуємо теорему про заміщення аргументу в оригіналі:

$$\mathbb{Z}\{f(t \pm vT)\} = \mathbb{Z}\{e^{\pm vT_0 s} F(s)\} = z^{\pm v} \mathbb{Z}\{F(s)\} \quad (4.3)$$

Тоді,

$$\mathbb{Z} \left\{ \frac{W_{\text{БЧ}}(s)}{s} \right\} - z^{-1} \mathbb{Z} \left\{ \frac{W_{\text{БЧ}}(s)}{s} \right\} = \frac{z - 1}{z} \mathbb{Z} \left\{ \frac{W_{\text{БЧ}}(s)}{s} \right\} \quad (4.4)$$

Для передавальної функції безперервної частини:

$$W_{\text{БЧ}}(s) = \frac{45.48}{(s+1)(4s+1)}, T_0=0.1$$

Визначимо аналітично передавальну функцію приведеної безперервної частини $W_{\text{ПБЧ}}(z)$.

$$W_{\text{ПБЧ}}(s) = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{W_{\text{БЧ}}(s)}{s} \right\} = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{60 \cdot 0.758}{s(s+1)(4s+1)} \right\} = 45.48 \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{1}{s(s+1)(4s+1)} \right\}$$

Розкладемо $W_{\text{БЧ}}(s)$ на суму простих дробів:

$$W_{\text{БЧ}}(s) = \frac{A}{s} + \frac{B}{s+1} + \frac{C}{4s+1}$$

Визначимо коефіцієнти A , B та C :

$$\frac{A}{s} + \frac{B}{s+1} + \frac{C}{4s+1} = \frac{1}{s(s+1)(4s+1)}$$

$$A(s+1)(4s+1) + B(4s+1)s + C(s+1)s = 1$$

$$\left| \begin{array}{l} s^0 \\ s^1 \\ s^2 \end{array} \right| \begin{array}{l} A = 1 \\ 5A + B + C = 0 \\ 4A + 4B + C = 0 \end{array} \Rightarrow \begin{cases} A = 1 \\ B = 0.33 \\ C = -5.33 \end{cases}$$

Підставимо обраховані коефіцієнти A , B та C у вираз $W_{\text{ПБЧ}}(s)$:

$$W_{\text{ПБЧ}}(z) = 45.48 \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{1}{s} + \frac{0.33}{s+1} - \frac{5.33}{4s+1} \right\}$$

Виконаємо Z -перетворення:

$$W_{\text{ПБЧ}}(z) = 45.48 \frac{z-1}{z} \left(\frac{z}{z-1} + \frac{0.33z}{z-e^{-\frac{T_0}{1}}} - \frac{1.33z}{z-e^{-\frac{T_0}{4}}} \right)$$

Підставимо $T_0=0,1$ та розкриємо дужки:

$$W_{\text{ПБЧ}}(z) = 45.48 \frac{z-1}{z} \left(\frac{z}{z-1} + \frac{0.33z}{z-0.9048} - \frac{1.33z}{z-0.9753} \right);$$

$$W_{\text{ПБЧ}}(z) = 45.48(z-1) \frac{(z-0.9048)(z-0.9753) + 0.33(z-1)(z-0.9753) - 1.33(z-1)(z-0.9048)}{(z-1)(z-0.9048)(z-0.9753)} =$$

$$45.48 \frac{z^2 - 0.9753z - 0.9048z + 0.8825 + 0.33z^2 - 0.3218z - 0.33z + 0.3218 - 1.33z^2 + 1.2034z + 1.33z - 1.2034}{z^2 - 1.8801z + 0.8825} =$$

$$45.48 \frac{0.0015z + 0.0009}{z^2 - 1.8801z + 0.8825} = \frac{0.068z + 0.041}{z^2 - 1.8801z + 0.8825}$$

Виконаємо перевірку розрахунків в командному рядку MATLAB:

```
>> w = tf([45.48],[4 5 1])
```

w =

$$\frac{45.48}{4s^2 + 5s + 1}$$

Continuous-time transfer function.

```
>> wz = c2d(w,0.1)
```

wz =

$$\frac{0.05454z + 0.05232}{z^2 - 1.88z + 0.8825}$$

Sample time: 0.1 seconds

Discrete-time transfer function.

Проведемо аналіз отриманих виразів для $W_{ПБЧ}(z)$ виконаною аналітично та за допомогою моделювання з використанням прикладного пакету MATLAB/Simulink.

На рисунку 4.1 представлено модель цифрової системи, а на рисунку 4.2 перехідні процеси.

Виконаємо моделювання цифрової системи(рис. 4.1):

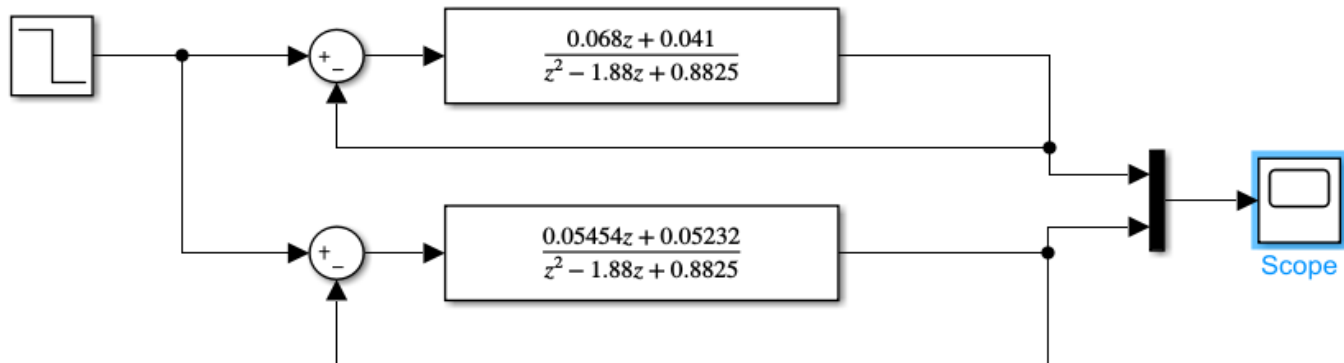


Рисунок 4.1 – Модель цифрової системи

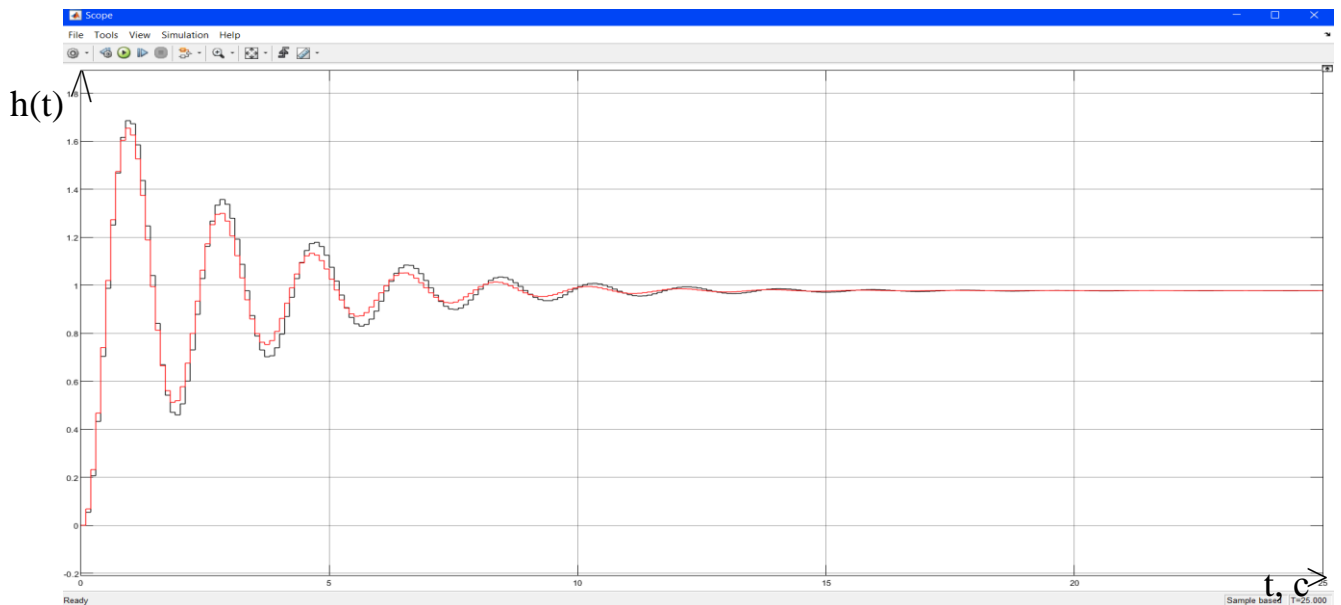


Рисунок 4.2 – Перехідні процеси

Як видно, результати розрахунків у MATLAB майже співпадають з виконаними аналітично. Різні числа в чисельнику зумовлені округленням великих чисел.

4.2 Дослідження стійкості цифрової системи

Розрахуємо передавальну функцію замкнутої цифрової системи:

$$W_3(z) = \frac{W_{\text{пбч}}(z)}{1 + W_{\text{пбч}}(z)} = \frac{\frac{0.05454z + 0.05232}{z^2 - 1.88z + 0.8825}}{1 + \frac{0.05454z + 0.05232}{z^2 - 1.88z + 0.8825}} = \frac{0.05454z + 0.05232}{z^2 - 1.825z + 0.935}$$

Корені характеристичного рівняння:

$$D(z) = z^2 - 1.825z + 0.935 = 0$$

$$z_{1,2} = 0.9125 \pm j0.319912$$

$$U = 0.9125; V = \pm 0.319912$$

Модуль комплексних коренів.

$$|z_{1,2}| = \sqrt{U^2 + V^2} = \sqrt{0.9125^2 + 0.319912^2} = 0.9289$$

Оскільки $|z_{1,2}| = 0.9289 < 1$, то система стійка.

```
>> w = tf([45.48],[4 5 1])
```

```
wz = c2d(w,0.1)
```

```
w =
```

```
45.48
```

```
-----
```

```
4 s^2 + 5 s + 1
```

Continuous-time transfer function.

WZ =

$$0.05454 z + 0.05232$$

$$z^2 - 1.88 z + 0.8825$$

Sample time: 0.1 seconds

Discrete-time transfer function.

```
>> nyquist(wz)
```

На рисунку 4.3 представлено АФЧХ.

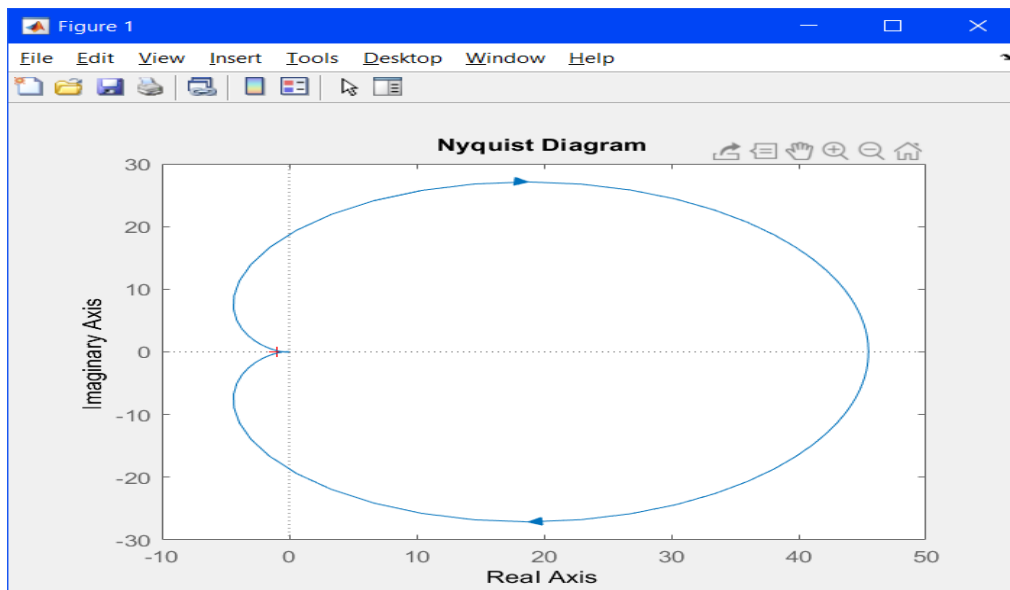


Рисунок 4.3 – АФЧХ

Система є стійкою оскільки АФЧХ системи не охоплює точку $(-1;0j)$.

4.3 Дослідження якості цифрової системи

Як відомо, у поняття якості цифрової системи входить якість перехідного процесу та помилка в установленому.

Визначимо показники якості перехідного процесу. Для цього будемо перехідний процес, графік якого представлений на рисунку 4.4.

$$W_{\text{БЧ}}(s) = \frac{45.48}{(s+1)(4s+1)}, T_0=0.1, W_{\text{ПБЧ}}(z) = \frac{0.05454z+0.05232}{z^2-1.88z+0.8825}$$

```
>> w = tf([45.48],[4 5 1])
```

w =

45.48

4 s^2 + 5 s + 1

Continuous-time transfer function.

```
>> wz = c2d(w,0.1)
```

wz =

0.05454 z + 0.05232

z^2 - 1.88 z + 0.8825

Sample time: 0.1 seconds

Discrete-time transfer function.

```
>> wzz=feedback(wz,1)
```

wzz =

$$0.05454 z + 0.05232$$

$$z^2 - 1.826 z + 0.9348$$

Sample time: 0.1 seconds

Discrete-time transfer function.

>> step(wzz)

Графік перехідної характеристики представлено на рисунку 4.4.

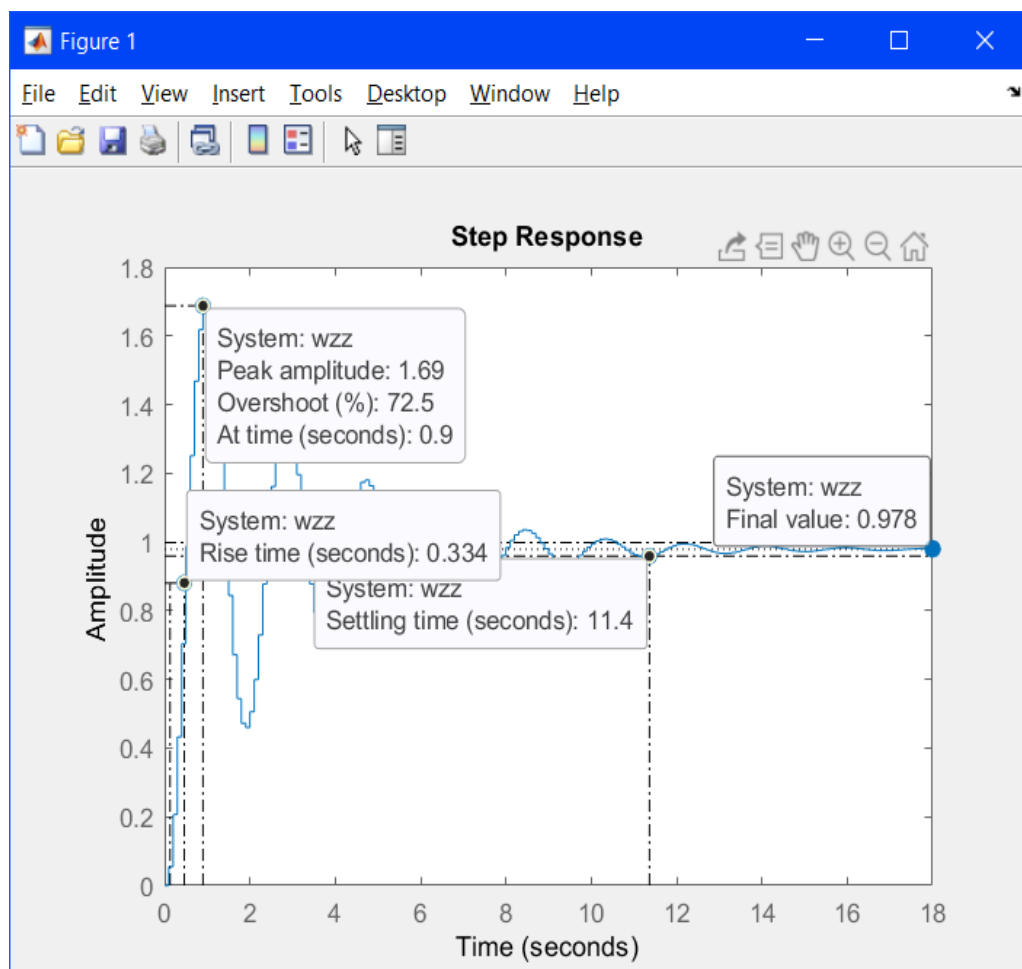


Рисунок 4.4 – Графік перехідної характеристики цифрової системи

$h_{\max}=1.69$, $t_{\text{пп}}=11.4$ с, $h_{\text{ст}}=0.978$, $t_{\text{уст}}=0.334$ с, $\sigma = 72.5\%$.

Передавальна функція замкнутої системи без стрибків має вигляд:

$$W_3(z) = \frac{0.05454z + 0.05232}{z^2 - 1.825z + 0.935}$$

Похибка регулювання визначається за формулою:

$$E(z) = \frac{z}{z-1} \left(1 - \frac{0.05454z + 0.05232}{z^2 - 1.825z + 0.935} \right) = \frac{z^3 - 1.87954z^2 + 0.88268z}{(z^2 - 1.825z + 0.935)(z-1)}$$

Стала похибка:

$$\varepsilon_{\text{ст}} = \lim_{z \rightarrow 1} (z-1)E(z) = \lim_{z \rightarrow 1} (z-1) \frac{z^3 - 1.87954z^2 + 0.88268z}{(z^2 - 1.825z + 0.935)(z-1)} = \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z^3 - 1.87954z^2 + 0.88268z}{(z^2 - 1.825z + 0.935)} =$$

$$\frac{1 - 1.87954 + 0.88268}{1 - 1.825 + 0.935} = \frac{0.00314}{0.11} = 0.024\%.$$

Модель цифрової системи у MATLAB(рис. 4.5):

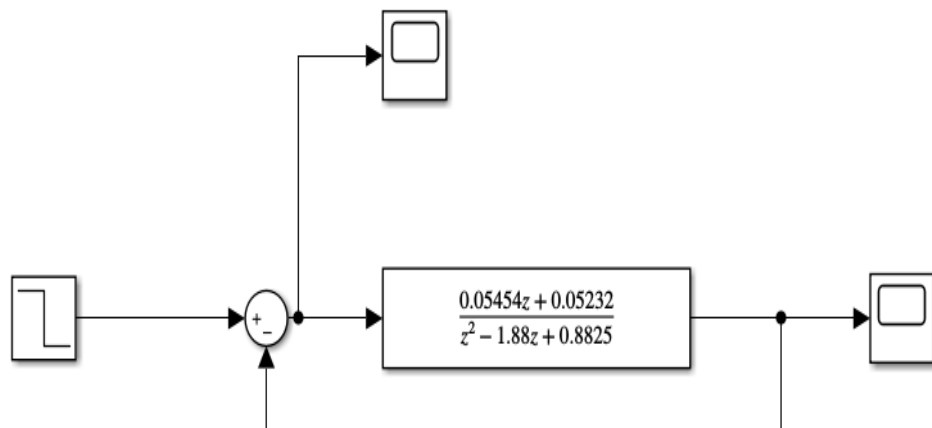


Рисунок 4.5 – Модель цифрової системи

Графік перехідного процесу представлений на рисунку 4.6:

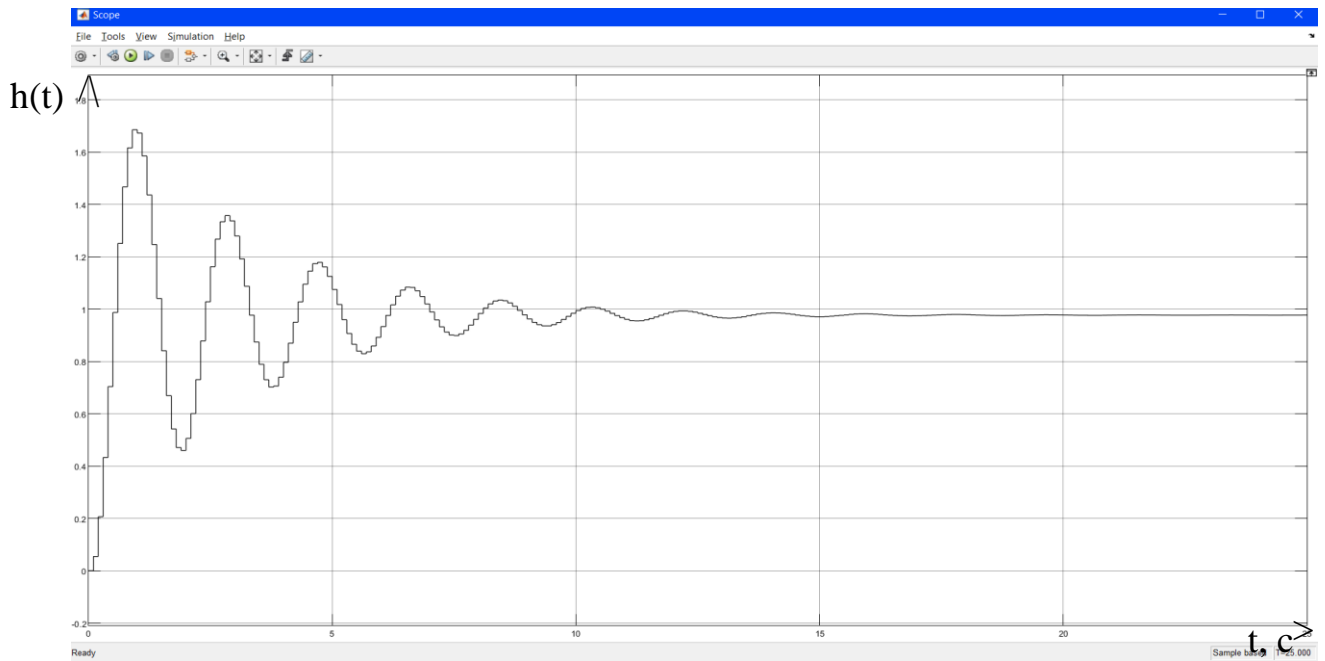


Рисунок 4.6 – Перехідні процеси

Графік похибки системи представлений на рисунку 4.7.

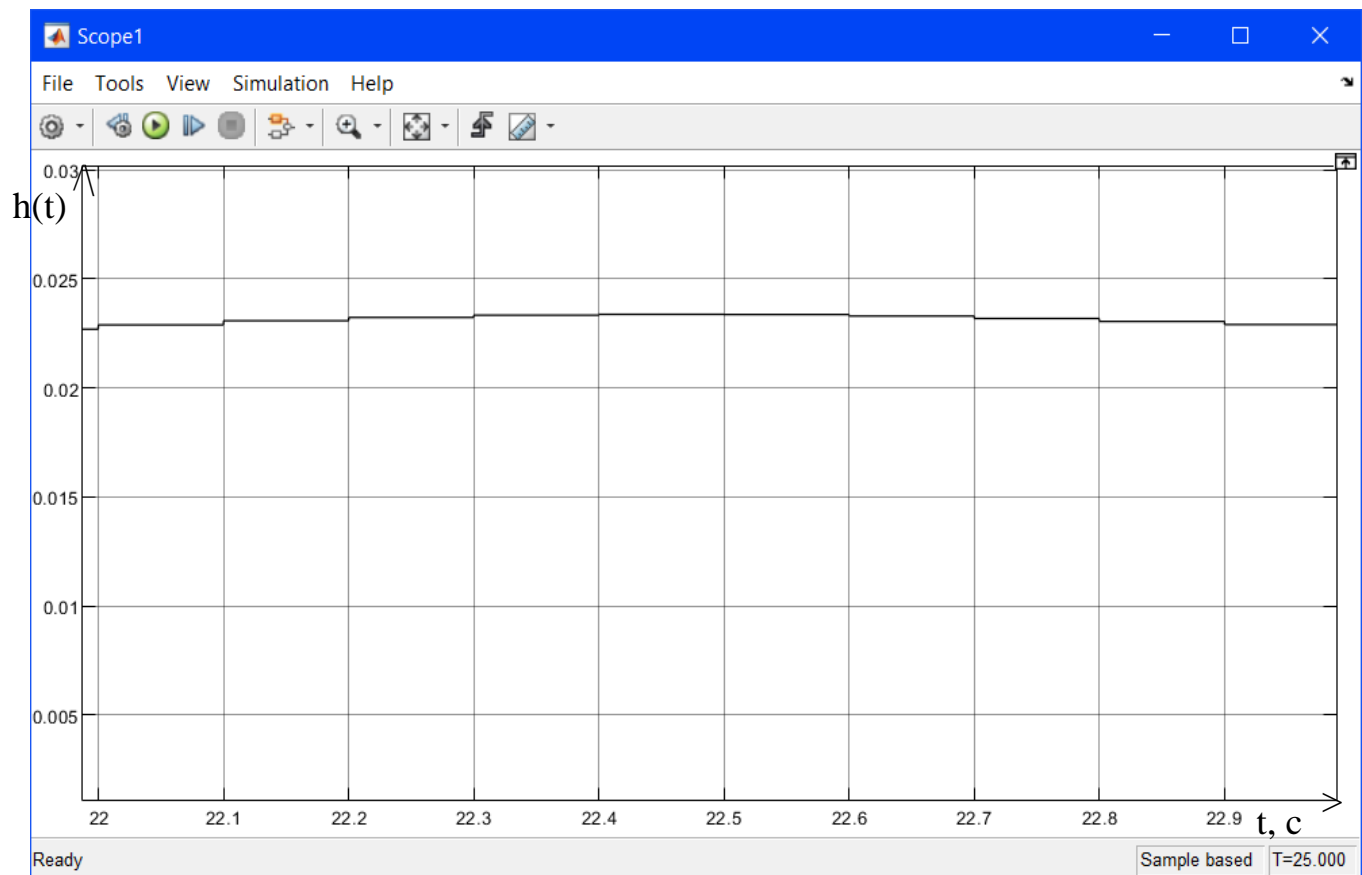


Рисунок 4.7. – Графік похибки

5 СИНТЕЗ ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА

В якості цифрового регулятора системи керування електромобілем обрано ПД-регулятор.

5.1 Теорія ПД-регулятора

ПД (від англ. P—proportional, I—integral, D—derivative)(рис 5.1) – регулятором називається пристрій, який застосовується в контурах управління, оснащених ланкою зворотнього зв'язку. Данні регулятори використовують для формування сигналів управління в автоматичних системах, де необхідно досягти високих вимог до якості та точності перехідних процесів. Управляючий сигнал ПД-регулятора виходить в результаті складання трьох складових: перша пропорційна величині сигналу неузгодженості, друга — інтегралу сигналу неузгодженості, третя — його похідній. Якщо будь-який з цих трьох компонентів не включений в процес складання, то регулятор буде вже не ПД, а просто пропорційальним, пропорційно-диференційованим або пропорційно-інтегруючим[20,21].

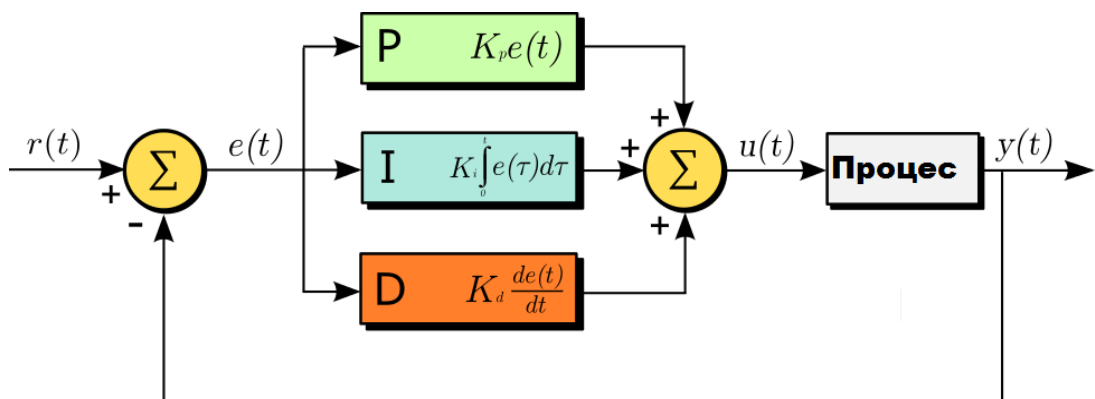


Рисунок 5.1 – ПД-регулятор

Пропорційна складова (П).

Вихідний сигнал дає пропорційна складова. Сигнал цей призводить до протидії поточному відхиленню вхідної величини, що підлягає регулюванню, від встановленого значення. Чим більше відхилення – тим більше і сигнал. Коли на вході значення регульованої величини дорівнює заданому, то вихідний сигнал стає рівним нулю.

Якщо залишити тільки цю пропорційну складову, і використовувати тільки її, то значення величини, що підлягає регулюванню, не стабілізується на правильному значенні ніколи. Завжди є статична похибка, яка дорівнює такому значенню відхилення регульованої величини, що вихідний сигнал стабілізується на цьому значенні.

Інтегруюча складова (І).

Інтеграл від часу від величини неузгодженості – це основна частина інтегруючої складової. Вона пропорційна цьому інтегралу. Інтегруючий компонент використовується для виключення статичної помилки, оскільки регулятор згодом враховує статичну похибку.

За відсутності зовнішніх збурень, через деякий час величина, яку потрібно відрегулювати, буде стабілізована у правильному значенні, коли пропорційна складова дорівнюватиме нулю, і точність виходу буде цілком забезпечена інтегруючою складовою. Але інтегруюча складова теж може породити коливання близько точки позиціонування, якщо коефіцієнт підібраний не правильно.

Диференціююча складова (Д).

Темпу зміни відхилення величини, що підлягає регулюванню, пропорційна третя – диференціююча складова. Вона необхідна для того, щоб протидіяти відхиленням (викликаним зовнішніми впливами або затримками) від правильного положення, прогнозованого в майбутньому.

Вихідні значення ПД-регулятора визначаються за формулою (5.1).

$$u(t) = П + I + Д = K_{\Pi}e(t) + K_I \int_0^t e(t)dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (5.1)$$

де $u(t)$ – функція;

П – пропорційна складова;

І – інтегральна складова;

Д – диференціююча складова;

K_P – пропорційний коефіцієнт;

K_I – інтегральний коефіцієнт;

K_D – диференціюючий коефіцієнт;

$e(t)$ – поточна похибка.

5.2 Розрахунок коефіцієнтів ПД-регулятора

Розрахунок коефіцієнтів ПД-регулятора виконується за методом компенсації нулями ПД-регулятора полюсів передавального процесу.

Дано передавальну функцію системи:

$$W_{\text{ПБЧ}}(z) = \frac{0.05454z + 0.05232}{z^2 - 1.88z + 0.8825}$$

Необхідно синтезувати цифрову систему з ПД-регулятором. Коефіцієнт помилки за швидкістю k_v обираємо довільно.

$$k_v = 5$$

$$k_v = \frac{1}{T_0} \lim_{z \rightarrow 1} (z) W_{\text{СК}}(z) = k_i W_{\text{ПБЧ}}(1) = 42.7446 k_i$$

$$\begin{cases} \frac{k_i T_0^2 - 2k_p T_0 - 4k_d}{k_i T_0^2 - 2k_d + 2k_p T_0} = -1.88 \\ \frac{2k_d}{k_i T_0^2 + 2k_d + 2k_p T_0} = 0.8825 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0.0658k_p = 1.342k_d - 0.02329k_i \\ 1.293k_d = 0.0707k_p + 0.003535k_i \end{cases}$$

$$k_v = 5 \Rightarrow k_i = 0.1170$$

$$k_p = 0.4504$$

$$k_d = 0.3199$$

$$\frac{T_0 k_i}{2} = 0.0058$$

$$\frac{k_d}{T_0} = 3.199$$

Схема моделі в MATLAB/SIMULINK(рис 5.4):

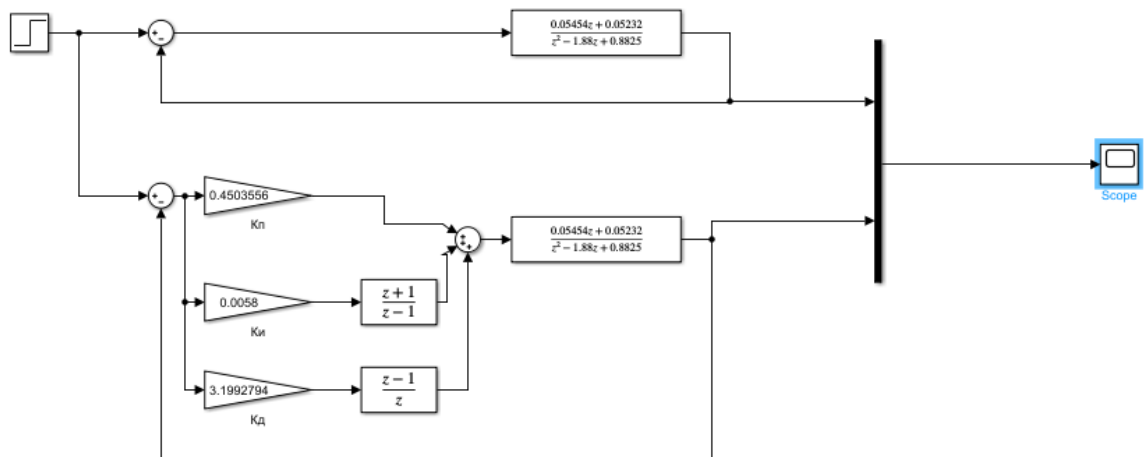


Рисунок 5.4 – Схема цифрової системи з ПД-регулятором та без нього

На рисунку 5.5 зображено перехідний процес цифрової системи:

$h(t)^\wedge$

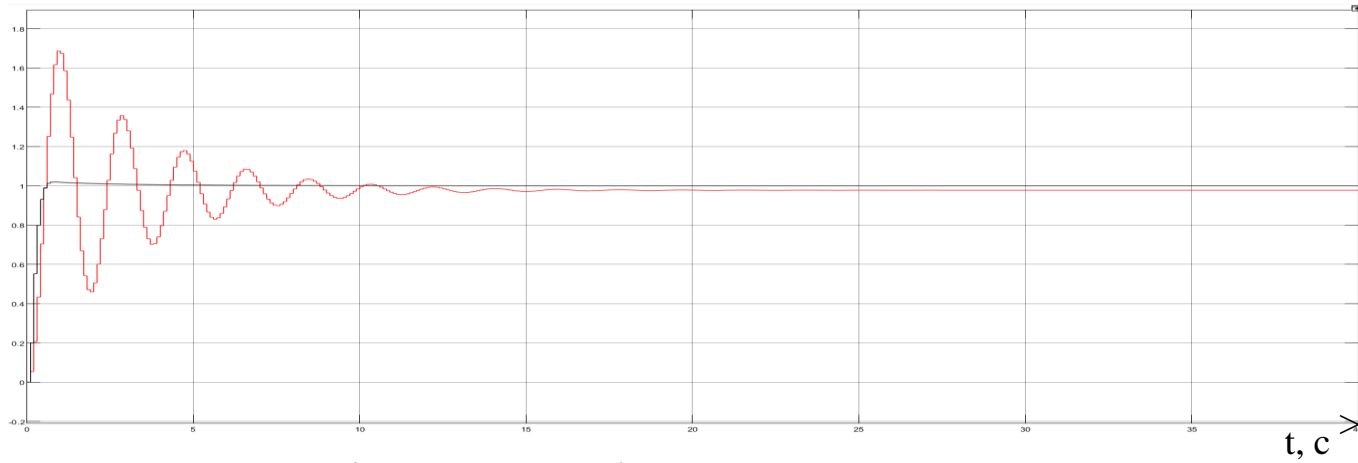


Рисунок 5.5 – Перехідний процес цифрової системи з ПД–регулятором та без
НЬОГО

Показники якості перехідного процесу наступні:

- без регулювання $h_{\max}=1.69$, $t_{\text{пп}}=11.4$ с, $h_{\text{ст}}=0.978$, $t_{\text{уст}}=0.334$ с, $\sigma = 72.5\%$.
- з регулюванням $h_{\max} = 1.019$; $t_{nn} = 0.5$ (с); $h_{\text{уст}} = 1$; $\sigma = 1.9\%$

6 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ K_v НА ЯКІСТЬ ПРОЦЕСІВ КЕРУВАННЯ

6.1 Обчислення коефіцієнтів ПІД-регулятора при різних K_v

Як відомо коефіцієнт помилки за швидкістю у методі синтезу цифрового ПІД-регулятора обирається довільно. Проведемо дослідження впливу параметра K_v на перехідні процеси.

За допомогою програмного пакету MATLAB був розроблений скрипт. Він задає параметр K_v у різному діапазоні можливих значень та розраховує коефіцієнти K_I , K_P , K_D . Задано 31 варіант можливих значень K_v .

```
w = tf([45.48],[4 5 1])
wz = c2d(w,0.1)
syms kv ki;
kv = 0.01
kv= [0.1 0.2 0.4 0.6 0.8]
ki = kv/46.8156
t0 = 0.1
for k=ki
    syms kd kp kdd;
    [kd, kp]=vpasolve([(k.*t0^2-2*kp*t0-4*kd)/(k.*t0^2+2*kd+2*kp*t0)==-1.872,
2*kd/(k.*t0^2+2*kd+2*kp*t0)==0.8752])
    kdd = kd/t0
end
ku = (t0*ki)/2
w = tf([45.48],[4 5 1])
wz = c2d(w,0.1)
syms kv ki;
kv = linspace(1,25,25)
ki = kv/42.744
```

```

t0 = 0.1
for k=ki
    syms kd kp kdd;
    [kd, kp]=vpasolve([(k.*t0^2-2*kp*t0-4*kd)/(k.*t0^2+2*kd+2*kp*t0)==-1.872,
2*kd/(k.*t0^2+2*kd+2*kp*t0)==0.8752])
    kdd = kd/t0
end
ku = (t0*ki)/2

```

За завершенням компіляції отримано такі результати:

```
>> script
```

w =

45.48

4 s^2 + 5 s + 1

Continuous-time transfer function.

wz =

0.05454 z + 0.05232

z^2 - 1.88 z + 0.8825

Sample time: 0.1 seconds

Discrete-time transfer function.

kv =

0.0100

ki =

2.3395e-04

kv =

0.1000 0.2000 0.4000 0.6000 0.8000

ki =

0.0023 0.0047 0.0094 0.0140 0.0187

kv =

Columns 1 through 16

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

Columns 17 through 25

17 18 19 20 21 22 23 24 25

t0 = 0.1000;

kd = 0.00063985588620625130785974461408716;

kp = 0.00090071121093018922678611216242617;

kdd = 0.0063985588620625130785974461408716;

ku = 1.1698e-05;

kd = 0.0063985588620625116975481938985589;

kp = 0.0090071121093018903237881340071121;

kdd = 0.063985588620625116975481938985589;

kd = 0.012797117724125023395096387797118;

kp = 0.018014224218603780647576268014224;

kdd = 0.12797117724125023395096387797118;

kd = 0.025594235448250046790192775594235;

kp = 0.036028448437207561295152536028448;

kdd = 0.25594235448250046790192775594235;

kd = 0.038391353172375070185289163391353;

kp = 0.054042672655811341942728804042673;

kdd = 0.38391353172375070185289163391353;

kd = 0.051188470896500093580385551188471;

kp = 0.072056896874415122590305072056897;

kdd = 0.51188470896500093580385551188471;

ku =

1.0e-03 *

0.1170 0.2340 0.4679 0.7019 0.9358

kd = 0.063985588620625116975481938985589;

kp = 0.090071121093018903237881340071121;

kdd = 0.63985588620625116975481938985589;

kd = 0.12797117724125023395096387797118;

kp = 0.18014224218603780647576268014224;

kdd = 1.2797117724125023395096387797118;

kd = 0.19195676586187535092644581695677;

kp = 0.27021336327905670971364402021336;

kdd = 1.9195676586187535092644581695677;

kd = 0.25594235448250046790192775594235;

kp = 0.36028448437207561295152536028448;

kdd = 2.5594235448250046790192775594235;

kd = 0.31992794310312558487740969492794;

kp = 0.45035560546509451618940670035561;

kdd = 3.1992794310312558487740969492794;

kd = 0.38391353172375070185289163391353;

kp = 0.54042672655811341942728804042673;

kdd = 3.8391353172375070185289163391353;

kd = 0.44789912034437581882837357289912;

kp = 0.63049784765113232266516938049785;

kdd = 4.4789912034437581882837357289912;

kd = 0.51188470896500093580385551188471;

kp = 0.72056896874415122590305072056897;

kdd = 5.1188470896500093580385551188471;

kd = 0.5758702975856260527793374508703;

kp = 0.81064008983717012914093206064009;

kdd = 5.758702975856260527793374508703;

kd = 0.63985588620625116975481938985589;

kp = 0.90071121093018903237881340071121;

kdd = 6.3985588620625116975481938985589;

kd = 0.70384147482687628673030132884147;

kp = 0.99078233202320793561669474078233;

kdd = 7.0384147482687628673030132884147;

kd = 0.76782706344750140370578326782706;

kp = 1.0808534531162268388545760808535;

kdd = 7.6782706344750140370578326782706;

kd = 0.83181265206812652068126520681265;

kp = 1.1709245742092457420924574209246;

kdd = 8.3181265206812652068126520681265;

kd = 0.89579824068875163765674714579824;

kp = 1.2609956953022646453303387609957;

kdd = 8.9579824068875163765674714579824;

kd = 0.95978382930937675463222908478383;

kp = 1.3510668163952835485682201010668;

kdd = 9.5978382930937675463222908478383;

kd = 1.0237694179300018716077110237694;

kp = 1.4411379374883024518061014411379;

kdd = 10.237694179300018716077110237694;

kd = 1.087755006550626988583192962755;

kp = 1.5312090585813213550439827812091;

kdd = 10.87755006550626988583192962755;

kd = 1.1517405951712521055586749017406;

kp = 1.6212801796743402582818641212802;

kdd = 11.517405951712521055586749017406;

kd = 1.2157261837918772225341568407262;

kp = 1.7113513007673591615197454613513;

kdd = 12.157261837918772225341568407262;

kd = 1.2797117724125023395096387797118;

kp = 1.8014224218603780647576268014224;

kdd = 12.797117724125023395096387797118;

kd = 1.3436973610331274564851207186974;

kp = 1.8914935429533969679955081414935;

kdd = 13.436973610331274564851207186974;

kd = 1.4076829496537525734606026576829;

kp = 1.9815646640464158712333894815647;

kdd = 14.076829496537525734606026576829;

kd = 1.4716685382743776904360845966685;

kp = 2.0716357851394347744712708216358;

kdd = 14.716685382743776904360845966685;

kd = 1.5356541268950028074115665356541;

$k_p = 2.1617069062324536777091521617069;$

$k_{dd} = 15.356541268950028074115665356541;$

$k_d = 1.5996397155156279243870484746397;$

$k_p = 2.251778027325472580947033501778;$

$k_{dd} = 15.996397155156279243870484746397;$

$k_u =$

Columns 1 through 10

0.0012 0.0023 0.0035 0.0047 0.0058 0.0070 0.0082 0.0094 0.0105
0.0117

Columns 11 through 20

0.0129 0.0140 0.0152 0.0164 0.0175 0.0187 0.0199 0.0211 0.0222
0.0234

Columns 21 through 25

0.0246 0.0257 0.0269 0.0281 0.0292

Також отримано результати $\frac{T_0 k_i}{2}$ та $\frac{k_d}{T_0}$.

Для кожних параметрів ПД-регулятора була створена цифрова модель системи.

На рисунку 6.1 зображена цифрова модель системи з ПД-регулятором.

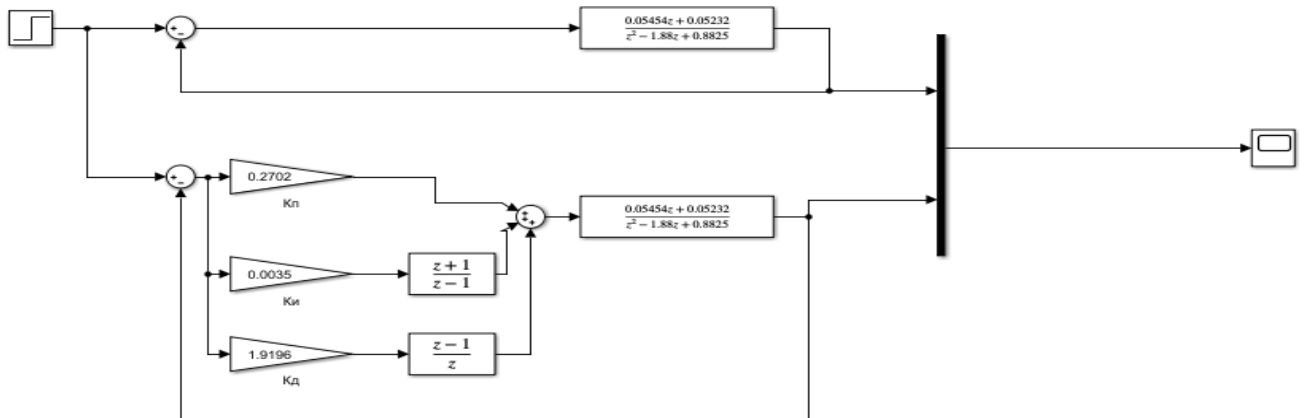


Рисунок 6.1 – Цифрова модель системи з ПД-регулятором

В результаті було проведено дослідження перехідного процесу усіх 31 змінних K_V . Результати записані у таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати дослідження перехідного процесу при різних значеннях K_V

K_V	K_i, K_d, K_p	$t_{пп}$	σ
Без ПД	Без ПД	11.4	72.5%
0.01	0.000234, 0.00064, 0.0009	290	0%
0.1	0.0023, 0.0064, 0.009	27.9	0%

Продовження таблиці 6.1 – Результати дослідження перехідного процесу при різних значеннях K_V .

0.2	0.0047, 0.0128, 0.018	13.3	0%
0.4	0.0094, 0.0256,	6.7	1.34%

	0.036		
0.6	0.0140, 0.0384, 0.054	4.6	1.95%
0.8	0.0187, 0.0512, 0.0721	3.5	2.22%
1	0.0012, 0.064, 0.0901	2.8	2.7%
2	0.0468, 0.128, 0.1801	1.5	2.015%
3	0.0702, 0.1919, 0.2702	0.9	1.942%
4	0.0936, 0.2559, 0.3602	0.7	1.82%
5	0.1170, 0.3199, 0.4503	0.5	1.93%

Продовження таблиці 6.1 – Результати дослідження перехідного процесу при різних значеннях K_V .

6	0.1282, 0.3505, 0.4934	0.4	4.4%
---	------------------------------	-----	------

7	0.1495, 0.4089, 0.5757	0.6	8.85%
8	0.1709, 0.4674, 0.6579	0.6	13.05%
9	0.1922, 0.5258, 0.7401	0.5	18.7%
10	0.2136, 0.5842, 0.8224	0.5	25.25%
11	0.2350, 0.6426, 0.9046	0.7	30.62%
12	0.2563, 0.7010, 0.9869	0.7	34.83%
13	0.2777, 0.7595, 1.0691	0.9	37.92%
14	0.2990, 0.8179, 1.1513	0.9	39.95%

Продовження таблиці 6.1 – Результати дослідження перехідного процесу при різних значеннях K_v .

15	0.3204, 0.8763, 1.2336	1.1	41.7%
----	------------------------------	-----	-------

16	0.3418, 0.9347, 1.3158	1.3	48.61%
17	0.3631, 0.9932, 1.3980	1.3	55.18%
18	0.3845, 1.0516, 1.4803	1.7	61.46%
19	0.4058, 1.1100, 1.5625	1.9	67.4%
20	0.4272, 1.1684, 1.6448	2.1	73.04%
21	0.4486, 1.2268, 1.7270	2.5	78.35%
22	0.4699, 1.2853, 1.8092	3.2	83.34%
23	0.5126, 1.4021, 1.9737	4.4	88.02

Продовження таблиці 6.1 – Результати дослідження перехідного процесу при різних значеннях K_v .

24	0.5340, 1.4605, 2.0559	7	92.38%
----	------------------------------	---	--------

25	0.4913, 1.3437, 1.8915	12.3	96.42%
----	------------------------------	------	--------

Аналізуючи програмний код, який видав результати 31 різних значень коефіцієнтів ПД-регулятора, можна зробити необхідні виводи.

Там, де K_V дорівнює значенню від 0.01 до 0.2, перерегулювання $\sigma = 0$.

Там, де K_V дорівнює значенню від 0.4 до 25, перерегулювання поетапно починає збільшуватись.

Найкраще значенням K_V обрано 5. Перехідний процес(рис. 6.2.) має найменший час перехідного процесу $t_{пп} = 0.5$ та перерегулювання $\sigma = 1.93\%$.

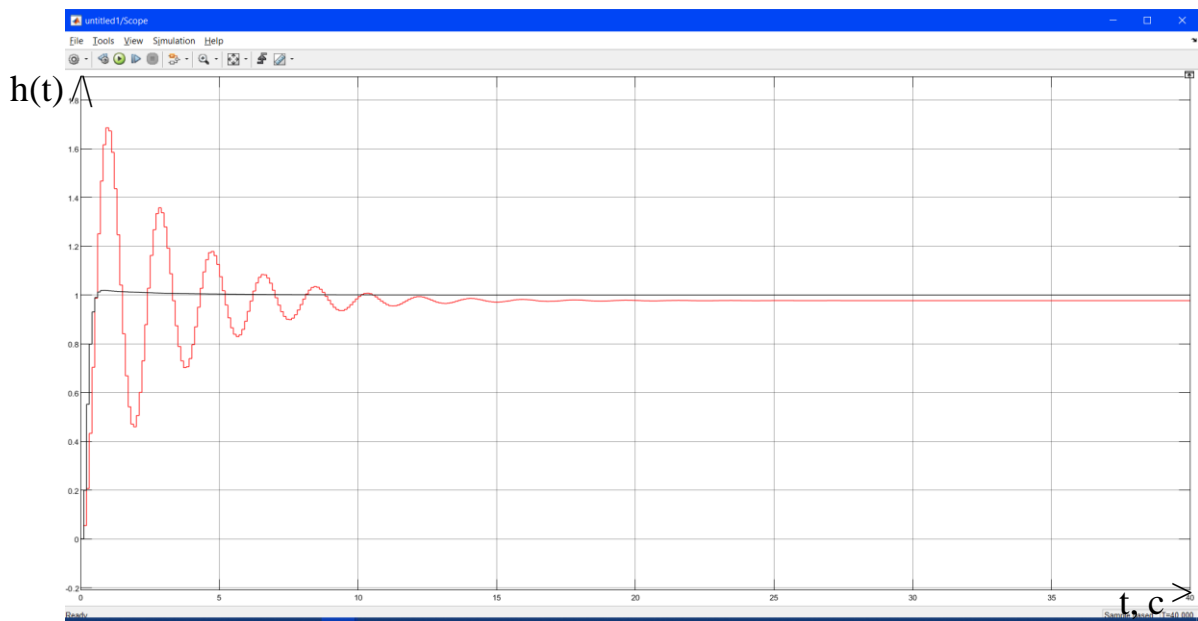


Рисунок 6.2 – Перехідний процес при $K_V = 5$

7 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

7.1 Опис ідеї проекту

У таблиці 7.1 проаналізовано зміст ідеї, запропонованої ймовірні спрямованості її використання і головні вигоди, які має можливість отримати користувач продукту, в межах яких треба знаходити групи ймовірних покупців.

Таблиця 7.1 – Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
	Технічний	Підвищення ефективності керування електромобілем
	Науковий	Зменшення часу перехідного процесу

У таблиці 7.2 проведено аналіз сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту у порівнянні з продуктом потенційних конкурентів.

Таблиця 7.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

п/п	Технічні та економічні характеристики	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Tesla Motors			

Продовження таблиці 7.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

.	Вартість системи	Середня	Висока		+	
.	Час перехідного процесу	Малий	Середній			+
.	Автоматизація	+	+		+	
	Автопілот	+	+		+	
	Кількість розробників	10	25			+

7.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Технологічна здійсненість ідеї проекту наведена у таблиці 7.3. У таблиці наведено ідею проекту, яку можливо впровадити, технологію реалізації ідеї, проаналізовано наявність технологій реалізації у світі та їх доступність.

Таблиця 7.3 – Технологічна здійсненість ідеї проекту

№ n/n	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Контроль швидкості електромобіля	Реалізація цифрової системи з ПД–регулятором	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Реалізація цифрової системи з ПД–регулятором				

7.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап–проекту

У таблиці 7.4 проаналізовано потенційний ринок стартап-проекту. Загалом проект відповідає вимогам ринку.

Таблиця 7.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап–проекту

<i>n/ n</i>	<i>Показники стану ринку (найменування)</i>	<i>Характеристика</i>
	Кількість головних гравців, од	8
	Загальний обсяг продаж, \$/ум.од	60000
	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Економічні
	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні на початковому етапі
	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	90

У таблиці 7.5 проаналізовано характеристику потенційних клієнтів проекту, а саме потреби, що формує ринок, цільові сегменти ринку, різну поведінку потенційних клієнтів, вимоги споживачів до товару.

Таблиця 7.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап–проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
------------------	-------------------------------------	---	--	--

Продовження таблиці 7.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

	Контроль швидкості та стабільність	Автомобілісти, звичайні люди	Різні відмінності	Ціна Стабільність Репутація
--	------------------------------------	------------------------------	-------------------	-----------------------------------

У таблиці 7.6 наведено фактори загроз, їх зміст та можлива реакція компанії на ці фактори.

Таблиця 7.6 – Фактори загроз

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
	Ріст конкурентів	Можливі нові алгоритми та технології від конкурентів	Проведення додаткових розрахунків та розроблення нових алгоритмів
	Економічний, політичний	Падіння економіки світу або якоїсь великої держави зі стабільно. економікою	Знаходження нових ринків збуту

У таблиці 7.7 проаналізовано фактори можливостей, зміст цих можливостей та реакція компанії на ці можливості.

Таблиця 7.7 – Фактори можливостей

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
------------------	---------------	-------------------------	---------------------------------

Продовження таблиці 7.7 – Фактори можливостей

	Нові технології розроблення електромобіля	Можлива поява нових технологій по створенню електромобіля	Аналіз нових технологій та розробка алгоритмів для його
	Потреба в технічному обслуговуванні	Міжнародна технічна допомога та обслуговування клієнтів	Створення цілодобової консультаційної підтримки для клієнтів

У таблиці 7.8 проведено ступеневий аналіз конкуренції ринку, а саме аналіз особливостей конкурентного середовища, як проявляється дана характеристика та вплив на діяльність підприємства, тобто можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною.

Таблиця 7.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
Олігополія	Не дуже багато конкурентів	Зменшення цін на продукт Підвищення якості продукту
Міжнародна	Замовники товару це звичайні люди по усьому світу	Потрібно збільшувати ринок збуту

Продовження таблиці 7.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Внутрішньогалузева	Тема предмету стосується до одної галузі	Підвищення якості Зменшення цін
Товарно–видова	Конкуренція між товарами одного виду	Розроблення кращої продукції, ніж у конкурентів
Цінова	Зменшення собівартості продукту	Зменшення вартості

У таблиці 7.9 проведено більш детальний аналіз конкуренції в галузі за М. Портером. У ній приведено аналіз прямих та потенційних конкурентів, постачальників, клієнтів та замінників продукту.

Таблиця 7.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	<i>Прямі конкуренти в галузі</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товари– замінники</i>
<i>Складові аналізу</i>	<i>Тойота Тесла Нісан</i>	<i>Гнучкі ціни, можуть собі дозволити великі інвестиції</i>	<i>Велика кількість постачальників</i>	<i>Якісна продукція</i>	<i>Демпінг цін, копіювання функціоналу</i>
<i>Висновки:</i>	<i>Висока конкурентна боротьба</i>	<i>Є можливості входу на ринок, наявні потенційні конкуренти</i>	<i>Диктують цінами на деталі та швидкістю доставки</i>	<i>Так</i>	

У таблиці 7.10 наведені переваги стартап-проекту над конкурентами.

Таблиця 7.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i>
1	Економічний	Вартість обслуговування, експлуатації; технологічна собівартість товару
2	Управління ресурсами	Мінімізація втручання людини
3	Підвищення ефективності керування	Ефективне керування за допомогою покращеного регулятора

У таблиці 7.11 виконується порівняльний аналіз сильних та слабких сторін конкурентоспроможності, які визначено у таблиці 7.10.

Таблиця 7.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

<i>n/ n</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Бали 1–20</i>	<i>Рейтинг товарів– конкурентів у порівнянні з ... (назва підприємства)</i>						
			<i>3</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
	Економічний							+	
	Управління ресурсами							+	
	Підвищення ефективності керування							+	

У таблиці 7.12 наведено SWOT-аналіз ринку, який передбачає усі фактори які були наведені вище. SWOT-аналіз визначає сильні та слабкі сторони, можливості та загрози.

Таблиця 7.12 – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Низька собівартість	Слабкі сторони: Відсутність торгових марок та патентів
Можливості: Зменшення собівартості	Загрози: Збільшення вартості приладів

Після опрацювання SWOT-аналізу розроблено альтернативи ринкової поведінки та приблизний час виведення стартап-проекта на ринок.

У таблиці 7.13 проаналізовано альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту, ймовірність отримання ресурсів та строки реалізації.

Таблиця 7.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i>	<i>Ймовірність отримання ресурсів</i>	<i>Строки реалізації</i>
1	Маркетингова компанія для пошуку нових клієнтів	Середня	1–2 роки
2	Пошук бізнес-партнерів з інших галузей для співпраці	Висока	0,5–1 рік

7.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

У таблиці 7.14 проведено опис цільових груп потенційних споживачів, готовність споживачів сприйняти продукт, попит цільової групи, інтенсивність конкуренції, простота входу у сегмент.

Таблиця 7.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

<i>№ п/п</i>	<i>Опис профілю цільової групи потенційн их клієнтів</i>	<i>Готовні сть споживачів сприйняти продукт</i>	<i>Орієнтов ний попит в межах цільової групи (сегменту)</i>	<i>Інтенсивні сть конкуренції в сегменті</i>	<i>Просто та входу у сегмент</i>
1	Звичайні люди	Висока	Високий	Інтенсивна	Висока
Які цільові групи обрано: звичайні дорослі люди за водійським посвідченням					

У таблиці 7.15 наведено визначення базової стратегії розвитку. Обрано альтернативу розвитку проекту, стратегію охоплення, ключові позиції конкурентоспроможності та базову стратегію розвитку.

Таблиця 7.15 – Визначення базової стратегії розвитку

<i>п/ п</i>	<i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i>	<i>Стратегія охоплення ринку</i>	<i>Ключові конкурентоспромо жні позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку*</i>
-----------------	---	--	--	---

Продовження таблиці 7.15 – Визначення базової стратегії розвитку

	Повна економія при виробництві	Налаштування виробництва під ринок	Можливість зменшити ціну системи за рахунок зменшення вартості компонентів	Стратегія лідерства по витратах
--	--------------------------------	------------------------------------	--	---------------------------------

Базовою стратегією розвитку обрано стратегію лідерства по витратах, яка передбачає надання товару меншої вартості ніж у конкурента.

У таблиці 7.16 визначено базові стратегії конкурентної поведінки.

Таблиця 7.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№ n/n</i>	<i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>
1	Ні	Шукати нових та забирати існуючих	Можливо	Стратегія спеціалізації

У таблиці 7.17 визначено стратегію позиціонування компанії. З результатів вище обрано вимоги цільової аудиторії до товару, базова стратегія розвитку, конкурентоспроможні позиції та вибір асоціацій.

Таблиця 7.17 – Визначення стратегії позиціонування

<i>n/ n</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>База ва стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)</i>
	Якість	Стратегія диференціації	Підвищена ефективність керування	
	Ціна	Стратегія лідера	Мала ціна на компоненти	

7.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

У таблиці 7.18 проаналізовано ключові переваги маркетингової концепції потенційного товару, потреба у продукті, вигоду з продукту та ключові фактори конкурентоспроможності.

Таблиця 7.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
1	Контроль швидкості електромобіля	Економія особистого часу	Ціна, якість

У таблиці 7.19 проаналізовано модель товару за трьома рівнями та за рахунок чого продукт буде захищено.

Таблиця 7.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

<i>Рівні товару</i>	<i>Сутність та складові</i>		
I. Товар за здумом	Отримання кращої керованості автоматизованого електромобіля		
	Властивості/характеристи ки	М/Н м	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Стійкість	М	Тх
	2. Керованість	М	Тх
	3. Якість	М	Тх
	Якість: тестування у програмному пакеті MATLAB		
	Пакування: наявне		
	Марка: назва організації–розробника + назва товару		
	До продажу: пропозиція якісного товару по низьким цінам		
	Після продажу: сервісне обслуговування		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патентування та ліцензування.			

У таблиці 7.20 проаналізовано встановлення меж ціни за рівнем цін на замінники, за рівнем цін на аналоги, за рівнем доходів цільової групи споживачів, за верхньою та нижчою межею встановлення ціни на товар. Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 7.20 – Визначення меж встановлення ціни

<i>№ n/n</i>	<i>Рівень цін на товари– замінники</i>	<i>Рівень цін на товари– аналоги</i>	<i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i>	<i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i>
------------------	--	--	---	--

Продовження таблиці 7.20 - Визначення меж встановлення ціни

1	–	100000\$	Від 20000 грн	100000/30000
---	---	----------	------------------	--------------

У таблиці 7.21 розраховано оптимальну систему збуту, яка включає: специфіку закупівельної поведінки цільової аудиторії, функції збуту, глибину каналу збуту.

Таблиця 7.21 – Оптимальна система збуту

<i>№ n/n</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
1	Попереднє замовлення	Встановлення контактів зі споживачами, їх підтримка	Канал нульового рівня	Збут продукції відбуватиметься безпосередньо через сайт виробника

У таблиці 7.22 проведено аналіз останньої складової маркетингової програми та розроблено концепцію маркетингових комунікацій. До складу концепції входить: специфіка поведінки цільової аудиторії, канали комунікацій, ключові позиції, завдання рекламного повідомлення та концепція рекламного звернення.

Таблиця 7.22 – Концепція маркетингових комунікацій

<i>№ n/n</i>	<i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Канали комунікацій, які користуються цільові клієнти</i>	<i>Ключові позиції обрані для позиціонування</i>	<i>Завдання реklamного повідомлення</i>	<i>Концепція реklamного звернення</i>
------------------	--	---	--	---	---

Продовження таблиці 7.22 – Концепція маркетингових комунікацій

1	Ціль ові клієнти оцінюють ь ціну, якість та безпеку товару	Інтернет	Послід овність Унікал ьність Достіп ність	Заінтересу вати цільову аудиторію у продукті	Раціоналіст ична рекламна стратегія
---	---	----------	--	---	---

7.6 Висновки

В результаті проведеної розробки маркетингового аналізу стартап-проекту отримано основні фактори конкурентоспроможності, оптимальну систему збуту, визначили межі встановлення ціни та концепцію маркетингових комунікацій. По отриманим даним з маркетингового аналізу стартап-проект може вийти на ринок та конкурувати з іншими продуктами за рахунок підвищення якості та зниження цін на продукт. Концепцією рекламного звернення обрано раціоналістичну рекламну стратегію.

ВИСНОВКИ

Розроблено систему керування електромобілем, а саме круїз-контролем.

Для виконання поставленої мети у дисертації вирішені наступні задачі:

- огляд існуючих рішень різних цифрових систем керування електромобілем;
- розроблено схему електричну структурну цифрової системи керування електромобілем;
- розроблено модель цифрової системи керування електромобілем;
- досліджено стійкість та якість цифрової системи керування електромобілем;
- синтез ПД-регулятора;
- досліджено перехідний процес цифрової системи керування електромобілем в залежності від змінного параметра K_v ;
- стартап-проект.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Історія електромобілів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://electro.co.ua/istoriya-elektromobilej/>.
2. Переваги та недоліки електромобілів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://innoeco.ru/postsView/Elektromobil-preimucshestva_nedostatki_perspektivy_35.html.
3. Tesla Roadster [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://hevcars.com.ua/tesla/roadster-53kwh-2008/>.
4. Tesla Model S [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://hevcars.com.ua/tesla/model-s-75/>.
5. Tesla Model X [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://hevcars.com.ua/tesla/model-x-75d/>.
6. Tesla Model 3 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://hevcars.com.ua/tesla/model-3-ev/>.
7. Nissan LEAF [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://hevcars.com.ua/nissan/leaf-60kwh-2018/>.
8. BMW i3 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://hevcars.com.ua/bmw/i3-120ah-2019/>.
9. Waymo [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Waymo>.
10. Автопілот Tesla [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.1gai.ru/publ/516653-avtopilot-tesla-samaya-prodvinutaya-iz-sovremennyh-sistem-na-rynke.html>.
11. Temporary Auto Pilot [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.motor1.com/news/27165/volkswagens-temporary-auto-pilot-makes-for-a-self-driving-car/>.
12. Traffic Jam Assist [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://media.ford.com/content/fordmedia/feu/en/news/2015/12/02/new-ford-autonomous-tech-turns-traffic-jams-into-chill-time-and-.html>.

13. ConnectDrive Connect [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.bmw.ru/ru/topics/fascination-bmw/connected-drive/overview.html>.
14. Super Cruise [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.cadillac.com/world-of-cadillac/innovation/super-cruise>.
15. SARTRE [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Safe_Road_Trains_for_the_Environment.
16. Принцип роботи тормозної системи [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://systemsauto.ru/brake/brake.html>.
17. ESP [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_stability_control.
18. ABS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Anti-lock_braking_system.
19. Рульове керування [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://systemsauto.ru/wheel/direct-adaptive-steering.html>.
20. Репнікова Н. Б. Теорія автоматичного керування: класика і сучасність: підруч. / Н. Б. Репнікова. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 328 с. – 1000 пр.
21. ПІД-регулятор [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller.
22. Створення м-файлів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://em.fea.kpi.ua/images/doc_stud/distsiplini/oktasem/oktasem_lekciya_3.6.pdf.
23. Баркалін В. В. Загальна теорія систем / В. В. Баркалін. – Мінск, 2003. – 25 с.